



Dinâmica sedimentar em sistemas dunares litorais

Aplicação ao sistema dunar da praia do Guincho, Cascais

Cláudia Alexandra Fernandes da Silva

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Arquitectura Paisagista

Orientador: Doutor Pedro Miguel Ramos Arsénio

Coorientador: Doutor Luís Manuel Pina Correia Rebêlo

Júri:

Presidente: Doutora Maria Manuela Silva Nunes Reis Abreu, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor Luís Manuel Pina Correia Rebêlo, Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, coorientador

Mestre Selma Beatriz de Almeida Nunes da Pena Baldaia, Assistente Convidada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, na qualidade de especialista

2015

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Luís Manuel Pina Correia Rebêlo, por todo o acompanhamento e conhecimentos transmitidos, assim como pela disponibilidade sempre demonstrada. Durante todo o processo esteve sempre disponível para me ajudar, desde o desenvolvimento da parte prática deste estudo, onde esteve sempre presente durante os levantamentos de campo efectuados, até ao posterior tratamento de dados, demonstrando-se sempre pronto a esclarecer qualquer dúvida. Agradeço-lhe todas as sugestões, conselhos e o grande entusiasmo manifestado no desenvolvimento do tema. Um grande e sincero obrigado.

Ao Dr. Pedro Miguel Ramos Arsénio, por todos os conselhos e sugestões sempre úteis, que me ajudaram a enriquecer esta dissertação.

À Cascais Ambiente, nomeadamente ao Arq. João Melo, Eng. Vasco Silva e Eng. Alexandre Neto, por me terem proposto o desenvolvimento deste tema de trabalho, assim como pela disponibilização de informação indispensável à sua realização, pelas visitas à área de estudo e todos os conhecimentos transmitidos.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional e motivação sempre transmitidos ao longo de todo o meu percurso académico, e sem os quais nada seria possível.

A todos os meus amigos, por me terem acompanhado durante esta etapa final da minha formação académica, e partilhado comigo todos os desafios e vitórias.

A todos, um sincero obrigado.

RESUMO

O sistema dunar da praia do Guincho está integrado num outro sistema de maiores dimensões, denominado por sistema dunar do Guincho-Oitavos. Este é um dos corredores eólicos mais notáveis do continente europeu, extremamente importante para o nosso património natural. No entanto, a actividade antrópica tem vindo a provocar alterações no seu processo de evolução, desestabilizando-o.

Ao longo da presente dissertação foi realizado um estudo da dinâmica sedimentar do troço sul do sistema dunar da praia do Guincho, que analisa o seu desenvolvimento nos últimos anos. Estando em curso um programa de retenção de sedimentos, pretendeu-se também realizar um exercício teórico que estime o possível desenvolvimento do sistema dunar no futuro, com base no seu padrão específico de evolução e na premissa de que as condições inerentes ao seu desenvolvimento se mantêm constantes, por forma a determinar o tempo que decorrerá até que o sistema comece a interagir negativamente com a Estrada Nacional 247.

Deste modo tornou-se possível sugerir medidas de gestão sustentável que acomodem o comportamento dinâmico deste sistema, em conformidade com os elementos que o rodeiam, preservando as suas características particulares, a biodiversidade que encerra, assim como as suas potencialidades enquanto património natural e espaço recreativo.

Palavras-chave: Sistema dunar; Guincho; Acumulação eólica; Modelo digital do terreno; Orientações de gestão costeira

ABSTRACT|

The Guincho's beach dune system is part of a larger system, called Guincho-Oitavos's dune system. This is one of the most remarkable wind corridors of the European continent, and is extremely important for our natural heritage.

However, the anthropogenic activity has been causing changes in its natural evolution process, destabilizing it.

In this dissertation it's analyzed the development of Guincho's beach dune system in recent years, and it's also developed a theoretical exercise that estimates its possible future development, based on its evolution pattern and on the premise that the inherent conditions for their development remain constant over time.

Thus, its possible to suggest sustainable management measures allowing the development of its dynamic behavior in accordance with the surrounding elements, preserving its particular characteristics and biodiversity, as well as its potential as a natural heritage and recreational space.

Key-words: Dune system; Guincho; Wind accumulation; Digital terrain model; Coastal management guidelines

EXTENDED ABSTRACT|

In this dissertation a study of the sediment dynamics in the Guincho's beach dune system is carried out, allowing the analysis of its development in recent years.

Through a survey conducted with Differential GPS, 14 326 elevation points were collected, allowing the development of a digital terrain model (DTM) of the dune surface. This DTM, corresponding to the year of 2014, is compared with a DTM built with 2011 data, from DGT – Direcção Geral do Território.

The subtraction of the two surfaces enables the identification of the areas where sand was accumulated or deflated, as well as the volume corresponding to these changes. This is the basis for calculating the annual wind accumulation rate.

In addition to analyzing its development in recent years, its future development is also estimated, through a theoretical exercise based on the evolution pattern of this particular system and on the assumption that the conditions attached to its development remains constant over time. A theoretical surface that simulates the development of the dune system is developed. It enables an approximate determination of the time it will take to evolve, assuming its development is in accordance with the surroundings. However, after this date, its sustainable development may be compromised, mainly due to the location of National Highway 247, since it establishes an artificial separation of a system that naturally is continuous.

Finally, this study provides guidelines to be taken into account in the sustainable management of the system in its entirety. Among them is defragmenting the dune system by disabling and restructuring the section of National Highway 247 that runs through it; the conditioning of its crossing through pedestrian routes, as well as their interconnection with existing routes in the south, promoting the continuity of the space that can be crossed and enjoyed in accordance with its dynamic development; the prohibition of construction over the system, among others.

The development of the dynamic behavior of the dune system must occur in accordance with the surroundings. Its particular characteristics and biodiversity must be preserved, ensuring its potential as a natural heritage and recreational space.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Extended abstract	v
Índice	vi
Índice de figuras	ix
Índice de tabelas	xiii
Lista de anexos	xiv

ÍNDICE

Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Enquadramento temático	1
1.2 Âmbito do problema	2
1.3 Objectivos	3
1.4 Estrutura da dissertação	4
Capítulo 2 Sistemas dunares litorais - Portugal Continental	6
2.1 Sistema praia – duna: condições de morfogénese	6
2.2 Principais morfologias em Portugal Continental	8
2.3 Importância e principais vulnerabilidades	12
2.4 Principais processos de recuperação e conservação	14
Capítulo 3 Caracterização e análise do caso de estudo	16
3.1 Localização e enquadramento	16
3.2 Enquadramento geológico e geomorfológico	18
3.3 Caracterização e análise da dinâmica e do estado actual do sistema dunar	19
3.3.1. Dinâmica do sistema dunar do Guincho-Oitavos	19
3.3.1.1. Principais modificações provocadas pela acção antrópica	21

3.3.2.	Caracterização e análise do estado actual do sistema dunar da praia do Guincho	23
--------	--	----

Capítulo 4| Métodos26

4.1	Modelos digitais do terreno	26
4.1.1.	Situação de referência	26
4.1.1.1.	Base teórica sobre a tecnologia LiDAR	27
4.1.1.2.	Caracterização do levantamento	28
4.1.2.	Situação actual	28
4.1.2.1.	Escolha do método de levantamento	28
4.1.2.2.	Base teórica sobre a tecnologia GPS	29
4.1.2.3.	Características do equipamento	31
4.1.2.4.	Planeamento do levantamento	31
4.1.2.5.	Procedimentos e características do levantamento	33
4.1.2.6.	Processamento de dados	34
4.1.2.7.	Base teórica sobre a elaboração de modelos digitais do terreno	34
4.2	Subtracção de modelos digitais do terreno	35
4.2.1.	Delimitação das áreas de entrada de sedimentos	35
4.3	Elaboração da superfície teórica	36
4.3.1.	Limites	37
4.3.2.	Produção de superfícies	38

Capítulo 5| Resultados e discussão40

5.1	Superfícies representativas do sistema dunar	40
5.1.1.	Superfície de referência	40
5.1.1.1.	Modelo digital do terreno - 2011	40
5.1.2.	Superfície actual	41
5.1.2.1.	Pontos recolhidos através do levantamento topográfico com DGPS	41
5.1.2.2.	Modelo digital do terreno – 2014	42
5.2	Comparação dos modelos digitais do terreno de 2011 e 2014	43
5.2.1.	Representação das alterações ocorridas no sistema dunar	43
5.3	Subtracção dos modelos digitais do terreno de 2011 e 2014	47
5.3.1.	Quantificação das alterações ocorridas no sistema dunar	47
5.3.2.	Relação dos dados obtidos com a introdução de paliçadas	54
5.3.3.	Cálculo da taxa de acumulação eólica anual	55
5.4	Análise da evolução do sistema dunar com base na monitorização da Cascais Ambiente	56

5.5 Superfície teórica	61
5.5.1. Limites	61
5.5.2. Elaboração da superfície	63
5.5.3. Cálculo do volume e do tempo de acomodação sedimentar	66
5.5.4. Relação entre os diferentes modelos de representação da superfície dunar	67
5.6 Discussão dos principais resultados	70
Capítulo 6 Orientações para a gestão do sistema dunar.....	73
6.1 Orientações de gestão	73
6.1.1. Reestruturação da Estrada Nacional 247	74
6.1.2. Condicionamento do atravessamento do sistema dunar	78
Capítulo 7 Conclusões	79
Referências Bibliográficas	81
Anexos	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama dos principais sistemas dunares ocorrentes em litoral arenoso, Portugal Continental. Fonte: Adaptado de Roxo <i>et al.</i> , 1992	9
Figura 2. Duna do tipo Hummocky na praia do Guincho. Fonte: Arca de Darwin	11
Figura 3. Diagrama esquemático sobre a formação de um blowout. Fonte: Hesp, 2002	11
Figura 4. Enquadramento geográfico da área de estudo	16
Figura 5. Localização e enquadramento da área de estudo e do corredor eólico do Guincho-Oitavos, demarcado sobre o ortofotomapa	17
Figura 6. Localização da área de estudo	17
Figura 7. Principais ambientes do sistema dunar do Guincho-Oitavos. Fonte: Rebêlo, 2004	19
Figura 8. Sobreposição das componentes do litoral a proteger presentes na estrutura ecológica nacional proposta pelo CEAP, com a área edificada existente. Construções sobre o corredor eólico interrompem a sua dinâmica natural, tornando-o inactivo a Sul. Fonte: CEAP	22
Figura 9. Introdução de paliçadas no sistema dunar da praia do Guincho em 2010. Fonte: Grande Hotel	23
Figura 10. Cordão dunar frontal formado após a introdução de paliçadas	24
Figura 11. Depressão morfológica que se desenvolve por trás do cordão dunar frontal e se prolonga até à Estrada Nacional 247.....	25
Figura 12. Marcas da forte intensidade e direcionalidade do vento na área de estudo.	25
Figura 13. Esquema da recolha de dados altimétricos através de tecnologia LiDAR a partir de uma plataforma aérea. Fonte: Reutebuch, 2005	27
Figura 14. Planeamento do levantamento topográfico segundo percursos com um espaçamento de 5 metros entre si	32
Figura 15. Representação esquemática da metodologia utilizada	39
Figura 16. MDT de 2011, organizado em classes de hipsometria e acompanhado por curvas de nível com intervalo de 1 metro. A – MDT da área de estudo e envolvente; B – MDT da área de estudo.....	40
Figura 17. Levantamento de 14 326 pontos, através de GPS Diferencial, efectuado durante 6 dias representados por diferentes cores (entre 17 de Abril de 2014 e 30 de Maio de 2014)	41
Figura 18. Modelo digital do terreno correspondente ao actual sistema dunar do Guincho, organizado segundo	

classes de hipsometria e acompanhado por curvas de nível com intervalo de 1 metro	42
Figura 19. Modelo digital do terreno correspondente ao ano de 2011 (A) e ao ano de 2014 (B), organizados segundo classes de hipsometria e acompanhados por curvas de nível com intervalo de 1 metro	43
Figura 20. Delimitação de cinco perfis (A-B; C-D; E-F; G-H; I-J) representativos da evolução do sistema dunar entre 2011 (A) e 2014 (B)	44
Figura 21. Perfil A-B	44
Figura 22. Perfil C-D	45
Figura 23. Perfil E-F	45
Figura 24. Perfil G-H	46
Figura 25. Perfil I-J	46
Figura 26. Representação das diferenças de elevação, em metros, que ocorreram no sistema dunar entre o ano 2011 e o ano 2014, acompanhadas por curvas de nível representativas do terreno, com intervalo de 1 metro. A tracejado está representada a localização do perfil K-L	47
Figura 27. Perfil K-L representativo das diferenças de elevação, em metros, que ocorreram no sistema dunar entre o ano 2011 e o ano 2014. Os valores positivos representam a acumulação e os negativos a deflação	48
Figura 28. Percentagem da área de estudo que sofreu acumulação e deflação de sedimentos, assim como a área que praticamente permaneceu inalterada, não sofrendo alterações significativas	49
Figura 29. Delimitação das áreas de entrada de sedimentos no sistema dunar por transporte eólico (1 e 2) acompanhadas por curvas de nível com um intervalo de 1 metro e pela crista de precipitação das acumulações.....	49
Figura 30. Localização de sete perfis representativos da evolução do sistema dunar entre 2011 (A) e 2014 (B), nas áreas de entrada de sedimentos por transporte eólico (Q-R, S-T, U-V, W-X, Y-Z correspondentes à área 1 e M-N, O-P correspondentes à área 2)	50
Figura 31. Perfil M-N	51
Figura 32. Perfil O-P	51
Figura 33. Perfil Q-R	51
Figura 34. Perfil S-T	52
Figura 35. Perfil U-V	52
Figura 36. Perfil W-X	52
Figura 37. Perfil Y-Z	53
Figura 38. Erros de levantamento topográfico inerentes à tecnologia LiDAR. Fonte: Hodgson, 2004	53
Figura 39. Diferenças no sistema dunar entre 2009 e 2014. Fonte: 2009 - Street View do Google Earth,	

consultado em 2014; 2010/2011 - Panoramio, Google Maps por Heini Eliasson, consultado em 2014.....	54
Figura 40. 1- Relação entre a acumulação de sedimentos por transporte eólico e a introdução de paliçadas no sistema dunar; 2- Representação das diferenças de elevação que ocorreram no sistema dunar entre 2011 e 2014; 3- Localização das fiadas de paliçadas introduzidas no sistema dunar	55
Figura 41. Extensão das fronteiras das áreas de entrada de sedimentos por transporte eólico	55
Figura 42. Localização dos 52 pontos altimétricos recolhidos na monitorização do sistema dunar pela Cascais Ambiente, que se encontram no interior da presente área de estudo	56
Figura 43. Diferenças de elevação entre 2011 e 2014. A - Representação realizada com base nos 14326 pontos recolhidos; B – Representação realizada com base nos 52 pontos recolhidos. Em ambos os modelos encontra-se delimitada a zona de entrada de sedimentos por transporte eólico, assim como a localização dos 52 pontos.....	57
Figura 44. Diferenças de elevação entre 2010 e 2014 utilizando o método B para representar e quantificar as alterações ocorridas na superfície do sistema dunar	59
Figura 45. Diferenças de elevação utilizando o método B para representar e quantificar as alterações ocorridas na superfície do sistema dunar. 1 – Diferenças entre 2010 e 2011; 2- Diferenças entre 2011 e 2012	59
Figura 46. Diferenças de elevação utilizando o método B para representar e quantificar as alterações ocorridas na superfície do sistema dunar. 1 – Diferenças entre 2012 e 2013; 2- Diferenças entre 2013 e 2014	60
Figura 47. Representação gráfica da variação anual de entrada de sedimentos no sistema dunar por transporte eólico entre 2010 e 2014	61
Figura 48. Limite segundo a crista de precipitação da área de entrada de sedimentos por transporte eólico	61
Figura 49. Linha de desnível de 0,50 metros entre a E.N. 247 e o sistema dunar	62
Figura 50. Linha de desnível de 1 metro entre a E.N. 247 e o sistema dunar	62
Figura 51. Diferenças entre as duas linhas de desnível em relação à E.N. 247 (a linha mais escura representa a linha de desnível de 1 metro e a mais clara a de 0,50 centímetros)	62
Figura 52. Superfícies TIN que interligam os pontos cotados correspondentes ao limite da crista de precipitação e ao limite do desnível em relação à E.N. 247. A – Superfície com um desnível de 0,50 metros em relação à E.N. 247; B – Superfície com um desnível de 1 metro em relação à E.N. 247.....	63
Figura 53. Superfície em formato matricial delimitada pela crista de precipitação da área de entrada de sedimentos no sistema dunar; pela direcção resultante do transporte eólico e por um desnível em relação à E.N. 247. A – Superfície com um desnível de 0,50 metros em relação à E.N. 247; B – Superfície com um desnível de 1 metro em relação à E.N. 247.....	64
Figura 54. Delimitação dos locais onde a superfície teórica poderá ser preenchida dos locais onde não poderão ocorrer acumulações. A – Superfície com um desnível de 0,50 metros em relação à E.N. 247; B – Superfície com	

um desnível de 1 metro em relação à E.N. 247	65
Figura 55. Superfície teórica organizada segundo classes de hipsometria - localização de perfis esquemáticos representativos. A – Superfície com um desnível de 0,50 metros em relação à E.N. 247; B – Superfície com um desnível de 1 metro em relação à E.N. 247	66
Figura 56. Diferença de elevação entre a actual superfície do sistema dunar e a superfície teórica, através da representação da acumulação de sedimentos necessária ao preenchimento da depressão morfológica actualmente existente. A – Superfície com um desnível de 0,50 metros em relação à E.N. 247; B – Superfície com um desnível de 1 metro em relação à E.N. 247.....	66
Figura 57. Perfis representativos da superfície A e superfície B	67
Figura 58. Quantidade de sedimentos que entrou no sistema por transporte eólico de 2011 para 2014, e que possibilitou a estimativa da acumulação necessária para preencher a actual depressão morfológica até atingir as superfícies A e B	68
Figura 59. Relação entre os perfis representativos da superfície dunar em 2011 e 2014 com a superfície teórica A, e consequente acumulação de sedimentos necessária	69
Figura 60. Relação entre os perfis representativos da superfície dunar em 2011 e 2014 com a superfície teórica B, e consequente acumulação de sedimentos necessária	69
Figura 61. Relação entre os perfis representativos da superfície dunar em 2011 e 2014 com as superfícies teóricas A e B e consequentes acumulações de sedimentos	70
Figura 62. Fragmentação do sistema dunar do Guincho-Oitavos (a sombreado) pela E.N. 247	74
Figura 63. Localização do troço da E.N. 247 a desactivar, assim como da alternativa de acesso proposta	75
Figura 64. Localização dos principais espaços e estruturas de lazer e apoio turístico	76
Figura 65. Principais eixos de circulação viária existentes actualmente	77
Figura 66. Principais eixos de circulação viária propostos	77
Figura 67. Principais eixos de circulação pedonal existentes actualmente	78
Figura 68. Principais eixos de circulação pedonal propostos	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Quantificação do volume de acumulação e deflação, em conjunto com as respectivas áreas, assim como a área cuja variação de volume foi praticamente inexistente e o balanço sedimentar entre a quantidade de sedimentos acumulada e deflacionada.	48
Tabela 2. Quantificação da acumulação total nas áreas 1 e 2, correspondente ao volume de sedimentos que entrou no sistema dunar entre 2011 e 2014 por transporte eólico	50
Tabela 3. Taxas de acumulação eólica relativas às áreas de entrada de sedimentos por transporte eólico no sistema dunar	56
Tabela 4. Comparação entre volumes e áreas dos dois métodos de quantificação das alterações ocorridas na superfície dunar entre 2011 e 2014	58
Tabela 5. Comparação dos valores obtidos para a entrada de sedimentos por transporte eólico no sistema dunar, entre os dois métodos de quantificação das alterações ocorridas na superfície dunar entre 2011 e 2014	58
Tabela 6. Variação anual de entrada de sedimentos no sistema dunar por transporte eólico entre 2010 e 2014	60
Tabela 7. Comparação entre a superfície A e a superfície B quanto à sua área, volume, cota máxima e tempo de acumulação estimado para o seu desenvolvimento	68

LISTA DE ANEXOS|

i. Levantamento topográfico efectuado com tecnologia LiDAR – 2011	88
ii. Altimetria 2011	89
iii. Hipsometria 2011	90
iv. Planeamento do levantamento do DGPS	91
v. Levantamento topográfico efectuado com DGPS I	92
vi. Levantamento topográfico efectuado com DGPS II	93
vii. Altimetria 2014	94
viii. Hipsometria 2014	95
ix. Acumulação/Deflação de sedimentos (2011-2014)	96
x. Superfície Idealizada I	97
xi. Superfície Idealizada II	98
xii. Acumulação necessária para atingir a superfície idealizada I	99
xiii. Acumulação necessária para atingir a superfície idealizada II	100
xiv. Acumulação/Deflação de sedimentos (2010-2014)*	101
xv. Acumulação/Deflação de sedimentos (2011-2014)*	102
xvi. Acumulação/Deflação de sedimentos (2010-2011)*	103
xvii. Acumulação/Deflação de sedimentos (2011-2012)*	104
xviii. Acumulação/Deflação de sedimentos (2012-2013)*	105
xix. Acumulação/Deflação de sedimentos (2013-2014)*	106

CAPÍTULO 1|

INTRODUÇÃO

1.1| ENQUADRAMENTO TEMÁTICO

Portugal Continental é essencialmente um país costeiro. Apresenta uma linha de costa que se estende aproximadamente por 976 km, dos quais: 60,3% correspondem a um litoral formado fundamentalmente por praias arenosas; 35,9% a um litoral rochoso formado por arribas rochosas sem praia; 3,4% a um litoral artificializado e 0,4% a zonas húmidas (sapais e outros ambientes estuarinos) que estabelecem contacto directo com o oceano (Andrade & Freitas, 2002).

Enquanto interface entre o oceano e a plataforma costeira, o litoral encerra uma enorme diversidade de ecossistemas dinâmicos e complexos, de elevado valor ecológico. Ecossistemas como praias, dunas, arribas, estuários, lagoas costeiras, ilhas, sapais, restingas, tómbolos, entre outros, com características muito particulares (Hesp & Short, 1982; Andrade *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2004b). Entre estes, importa destacar os sistemas dunares. A sua génese e evolução estão relacionadas com a conjugação de diversos factores, dos quais se salientam a disponibilidade sedimentar e a acção do vento local (Pereira, 1987; Pereira & Angelucci, 2004; Rebêlo, 1995; Paixão, 2013; Martínez *et al.*, 2004b; Arun *et al.*, 1999; Maun, 2009).

Dado que o litoral português é maioritariamente arenoso, a existência destes sistemas é frequente. A sua localização geográfica assim como a morfologia do território envolvente determinam diferentes processos de desenvolvimento e geram sistemas de uma grande diversidade morfológica (Rebêlo, 1995; Paixão, 2011; Pereira, 1987; Roxo *et al.*, 1992).

Como estão localizados na transição entre os ecossistemas terrestres e marinhos, protegem os terrenos emersos da subida do nível do mar e da acção erosiva das ondas, ao mesmo tempo que salvaguardam os usos do solo que se encontram a sotavento (Paixão, 2011; Heslenfeld *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2004b; Hesp, 1988; Psuty, 2004; De Jong *et al.*, 2014). Possuem uma diversidade biológica privilegiada, contendo inúmeras espécies de flora e fauna, muitas delas endémicas e raras, com estatuto de protecção (Cruz, 1984; Maun, 2009; Pereira, 1987; Martínez *et al.*, 2004b; Cardoso & Carvalho, 2003).

Por constituírem um sistema permeável, contribuem também para a recarga de sistemas aquíferos, assim como para a sua protecção, preservando as reservas de água doce (Paixão, 2011; Andrade & Freitas, 2002). Dada a sua localização, estes sistemas encerram também uma beleza incomparável. Constituem um património natural muito atractivo, com potencialidades para o recreio e turismo de elevada importância no desenvolvimento económico (Paixão, 2011; Heslenfeld *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2004b). Devem por isso ser preservados e conservados, dados os recursos indispensáveis que providenciam.

No entanto, muitos são os factores que os colocam em risco. A ocupação antrópica do litoral tem-se intensificado durante o último século, estimando-se que em Portugal, aproximadamente 60% da actual população habite em áreas costeiras (Andrade & Freitas, 2002; Paixão, 2011).

O concelho de Cascais, onde se encontra a área de estudo, apresenta uma razão entre o comprimento de faixa costeira e a superfície 27 vezes superior à média de Portugal Continental. Tem uma orla marítima de 24 quilómetros, cerca de metade do perímetro total do concelho, e é aqui que se concentra a maioria da população e núcleos urbanos (Taborda *et al.*, 2010). Desde o início do século XX que uma das principais actividades económicas do concelho de Cascais é o turismo. O clima ameno conjugado com a qualidade das praias reconhecidas internacionalmente assim como a beleza singular desta faixa costeira contribuem para o seu crescente desenvolvimento (Taborda *et al.*, 2010).

Contudo, a falta de ordenamento originou uma ocupação insustentável dos sistemas costeiros, com repercussões nos ecossistemas naturais que encerram (Roxo *et al.*, 1992).

Uma vez que os sistemas dunares são constituídos essencialmente por sedimentos não consolidados, são extremamente sensíveis e vulneráveis, sendo que a pressão antrópica, principalmente nos meses de Verão, é uma das principais causas da sua degradação (Roxo *et al.*, 1992; Paixão, 2013; Martínez *et al.*, 2004b; Heslenfeld *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2004b). O pisoteio, a destruição da vegetação, a circulação de veículos, a extracção de areia e a construção de infra-estruturas são as principais ameaças que estes sistemas enfrentam (Rebêlo, 1995; Heslenfeld *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2004b; Cardoso & Carvalho, 2003).

O desconhecimento das dinâmicas próprias de cada sistema dunar também origina o seu desequilíbrio. A introdução de barreiras artificiais sem critério, em localizações impróprias, em vez de contribuir para a recuperação de um sistema já debilitado, contribui ainda mais para sua destabilização (Rebêlo, 1995).

É de extrema importância assegurar a sua gestão sustentável, garantindo que a sua evolução ocorre em conformidade com o meio envolvente, assim como com todos os factores que contribuem para o seu equilíbrio, preservando o seu comportamento dinâmico e geomorfologia singular, assim como toda a biodiversidade particular que encerram.

1.2| ÂMBITO DO PROBLEMA

A paisagem costeira onde está integrado o sistema dunar da praia do Guincho constitui um património natural de beleza rara, com uma biodiversidade privilegiada, e inúmeras potencialidades para o recreio e o turismo.

No entanto, a fragmentação causada pela implementação de uma infra-estrutura viária põe em causa a sua sustentabilidade a longo prazo, uma vez que esta implementação não é compatível com as dinâmicas naturais do sistema.

Muitos são os esforços e os recursos utilizados na tentativa de conciliar a existência desta infra-estrutura com a dinâmica do sistema dunar. No entanto, tais esforços são efémeros e apenas mantêm uma situação insustentável ao longo do tempo.

É necessário sensibilizar para a necessidade de uma gestão integrada deste troço de costa, e indicar orientações que visem o seu bom funcionamento no futuro.

Para além da fragmentação, existem outras vulnerabilidades inerentes a este sistema dunar, como a sua progressiva degradação que se deve essencialmente ao pisoteio desregrado e à circulação de veículos todo-o-

terreno.

Tais práticas promoveram a realização de um projecto de recuperação, que repusesse o seu equilíbrio perdido. Neste sentido, em 2010 surge o Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina, realizado pela Cascais Ambiente. Este projecto pretendia promover a deposição e acumulação sedimentar, através da instalação de paliçadas e da plantação de espécies dunares características, assim como erradicar as espécies exóticas invasoras, condicionar os acessos e implantar um circuito de percursos interpretativos (SPECO & Agência Cascais Natura, 2011).

Após a intervenção, interessa compreender a actual dinâmica do sistema através das suas respostas às alterações sofridas. É neste sentido que a Cascais Ambiente tem vindo a implementar um programa de medições da deposição de sedimentos no sistema, tendo efectuado medições em 2010, num momento anterior à colocação das paliçadas, e em 2012 e 2013 após a referida intervenção.

O presente estudo vem dar continuidade à monitorização previamente iniciada, numa tentativa de compreender a evolução do sistema, avaliar o seu possível desenvolvimento futuro e direccionar intervenções. Visa uma perspectiva de gestão sustentável, enquanto paisagem singular, dinâmica e atractiva, rica em biodiversidade.

1.3| OBJECTIVOS

O presente estudo pretende compreender a evolução do troço sul do sistema dunar da praia do Guincho nos últimos anos, através da quantificação das mudanças ocorridas na sua superfície, com o intuito de estimar o seu desenvolvimento futuro e assim sugerir medidas de gestão sustentável.

Tem como principal objectivo determinar o tempo que irá demorar para que o desenvolvimento natural do sistema dunar se torne incompatível com a existência da Estrada Nacional 247, de forma a sensibilizar para a necessidade emergente da gestão deste troço costeiro, que encerra inúmeros recursos e potencialidades.

De modo a alcançar este objectivo devem ser cumpridas as seguintes tarefas:

- i. Elaborar um modelo digital do terreno (MDT) correspondente à actual superfície do sistema dunar;
- ii. Quantificar e representar as alterações ocorridas neste sistema entre 2011 e 2014, no que diz respeito à acumulação e deflação de sedimentos;
- iii. Relacionar a acumulação de sedimentos com a colocação de paliçadas instaladas no âmbito do Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina;
- iv. Desenvolver um exercício teórico que simule a situação do preenchimento da depressão morfológica actualmente existente, através de transporte eólico;
- v. Calcular a taxa de acumulação eólica anual e o volume de sedimentos necessário para preencher a depressão morfológica existente, assim como o tempo aproximado que demorará para ser preenchida, considerando que as condições inerentes ao processo de acumulação eólica se mantêm idênticas ao intervalo de tempo analisado;
- vi. Aplicar a metodologia utilizada nos estudos iniciados em 2010 pela Cascais Ambiente e verificar quais as

variações anuais de acumulação eólica entre 2010 e 2014;

- vii. Propor orientações de gestão para esta paisagem costeira, de modo a garantir a sua sustentabilidade ao longo do tempo. As recomendações são propostas para que o desenvolvimento do sistema ocorra em conformidade com os elementos que o rodeiam; o equilíbrio com o meio envolvente não seja perdido; e ainda que a biodiversidade que engloba, assim como o seu comportamento dinâmico e geomorfologia singular sejam preservados, garantindo as suas potencialidades enquanto património natural e espaço recreativo.

1.4| ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se organizada em sete capítulos principais, correspondendo o primeiro capítulo à introdução. Neste capítulo faz-se um enquadramento temático ao litoral de Portugal Continental, assim como aos sistemas naturais que compreende, dando especial ênfase aos sistemas dunares. São referidos os principais motivos pelos quais a sua gestão é de extrema importância, assim como as principais ameaças a que estão sujeitos. Apresenta-se também o contexto que conduziu à escolha do tema, assim como a sua pertinência e principais objectivos a desenvolver.

No Capítulo 2 é elaborada uma revisão dos principais conceitos que permitem compreender os sistemas dunares na sua totalidade. São abordadas as suas condições de morfogénese, a sua importância, vulnerabilidades e processos de recuperação e conservação. Apesar da grande diversidade morfológica que estes sistemas apresentam em Portugal Continental, no âmbito do presente estudo mostrou-se relevante avaliar apenas dois: os sistemas de dunas frontais e os corredores eólicos.

No Capítulo 3 realiza-se uma caracterização e análise do caso de estudo. É avaliada a sua dinâmica actual, assim como o seu funcionamento enquanto parte integrante de um outro sistema de maiores dimensões, cujo mecanismo de desenvolvimento e evolução importa compreender.

No Capítulo 4 são apresentados os principais métodos que conduziram à concretização dos objectivos da presente dissertação. É apresentado o modo de elaboração do modelo digital do terreno (MDT) correspondente à actual superfície do sistema dunar, assim como a forma como se efectuou a sua comparação com um MDT referente ao sistema no passado. São também referidos os métodos de elaboração de uma superfície teórica relativa ao sistema dunar numa situação futura, assim como da sua comparação com a actual superfície.

Ao longo do Capítulo 5 são apresentados os principais resultados, assim como a discussão dos mesmos. É feita uma comparação entre as superfícies representativas do sistema dunar correspondentes aos anos de 2011 e 2014, assim como uma representação e quantificação das alterações ocorridas nesse mesmo período. É também avaliada a relação entre a acumulação de sedimentos e a colocação de paliçadas no âmbito do Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina e efectuada uma comparação entre os dados obtidos no presente estudo e os dados obtidos através dos levantamentos topográficos realizados pela Cascais Ambiente, verificando as variações anuais de acumulação eólica entre 2010 e 2014. É também calculada a taxa de

acumulação eólica anual, o volume necessário para preencher a actual depressão morfológica assim como o tempo aproximado que demorará a ser preenchida.

No Capítulo 6 são indicadas orientações para uma gestão sustentável deste sistema dunar, com base no estudo previamente realizado, e por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as principais conclusões deste estudo.

CAPÍTULO 2|

INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DUNARES LITORAIS EM PORTUGAL CONTINENTAL

Como enunciado inicialmente, o presente estudo visa, entre outros aspectos, a compreensão da evolução do troço sul do sistema dunar da praia do Guincho nos últimos anos. Deste modo torna-se necessário realizar uma introdução aos principais processos inerentes aos sistemas dunares, de forma a conhecer o seu funcionamento. Neste capítulo faz-se assim uma abordagem às principais condições de morfogénese do sistema praia – duna, referindo-se também as principais morfologias dunares, de indispensável compreensão no âmbito da presente dissertação. Esclarece-se também a importância e principais vulnerabilidades destes sistemas, assim como os seus principais processos de recuperação e conservação.

2.1| SISTEMA PRAIA – DUNA: CONDIÇÕES DE MORFOGÉNESE

As zonas costeiras arenosas constituem um ambiente propício à formação de sistemas dunares. Associadas a estas formações geomorfológicas estão as zonas de praia, com as quais é estabelecido um intercâmbio sedimentar constante. As duas entidades constituem um sistema dinâmico, o sistema praia-duna, onde existe uma troca de sedimentos contínua (Hesp & Short, 1982; Martínez *et al.*, 2004b; Saye *et al.*, 2005; Paixão, 2011). Para que as praias se formem, tem que existir para além de disponibilidade sedimentar, condições geomorfológicas e energéticas adequadas (Rebêlo, 1995; Saye *et al.*, 2005; Barrère, 1992). As areias litorais provém de três fontes principais: de sedimentos fluviais transportados pelos cursos de água que drenam para a costa; da abrasão do próprio litoral e da actividade biogénica, sendo a deriva litoral de sedimentos a principal responsável pelo seu transporte e distribuição ao longo da costa (Pereira, 1987; Psuty, 2004; Holmes, 2001; Hesp & Short, 1982; Maun, 2009).

Ao atingir as zonas costeiras arenosas, a ondulação gera correntes junto às praias, cuja intensidade depende da potência das ondas e do ângulo que efectuam com a linha de costa na altura da rebentação. Juntamente com estas correntes, a própria movimentação das ondas causa agitação das partículas, cativando os sedimentos que alimentam as zonas de praia (Rebêlo, 1995).

Existindo condições para a acumulação de sedimentos junto à costa, há a possibilidade de se desenvolverem dunas litorais. A morfogénese destes sistemas necessita de dois requisitos principais: disponibilidade sedimentar e vento (Pereira, 1987; Pereira & Angelucci, 2004; Rebêlo, 1995; Paixão, 2011; Martínez *et al.*, 2004b; Arun *et al.*, 1999; Maun, 2009).

Numa praia, para que os sedimentos sejam colocados em movimento pelo vento é indispensável a ocorrência da ruptura da inércia entre os grãos de areia (Pereira, 1987; Rebêlo, 1995). Tal ruptura está dependente de vários factores, como o clima (velocidade e frequência do regime de ventos local, precipitação, temperatura, humidade atmosférica, agitação marítima, viscosidade e densidade do ar) e o substrato arenoso (textura, estrutura,

densidade real, teor em matéria orgânica, humidade e rugosidade superficial), sendo que as características do vento e da rugosidade da superfície são as mais relevantes (Pereira, 1987; Maun, 2009; Psuty, 2004; Holmes, 2001; Hesp & Short, 1982; Martínez *et al.*, 2004).

A precipitação e a humidade atmosférica promovem o preenchimento dos intervalos existentes entre os grãos de areia e funcionam como agente aglutinador. Quanto maior a quantidade de água e melhor a sua distribuição, maior será a coesão entre os grãos de areia, aumentando também a dificuldade na sua mobilização (Pereira, 1987; Pereira & Angelucci, 2004).

A duração da estação seca também influencia a mobilização dos sedimentos, uma vez que esta é caracterizada por elevadas temperaturas e/ou baixa humidade atmosférica, o que promove a evaporação da água dos interstícios dos grãos de areia, aumentando a possibilidade dos grãos serem mobilizados pelo vento (Pereira, 1987).

Como referido inicialmente, para além da disponibilidade de sedimentos, a existência de vento capaz de efectuar a sua mobilização, transporte e deposição é outra condição básica para o desenvolvimento de acumulações sedimentares eólicas. É a sua acção que possibilita a erosão, o transporte e a posterior deposição e acumulação de sedimentos (Pereira, 1987; Rebêlo, 1995; Rebêlo & Brito, 2004; Martínez *et al.*, 2004b; Paixão, 2013; Maun, 2009). Com a ausência de vento, os sedimentos encontram-se apenas sujeitos à força da gravidade, e por isso, em repouso (Pereira, 1987; Rebêlo, 1995). O vento é originado através de deslocações de massas de ar entre pressões altas e baixas (Rebêlo, 1995). Durante a sua deslocação ele efectua uma fricção tanto no interior da própria massa de ar como com a superfície exterior com a qual entra em contacto, originando a dissipação da energia cinética adquirida, que se reflecte na diminuição da sua velocidade (Rebêlo, 1995). Surgem assim forças que possibilitam a movimentação das partículas de areia, através de três processos principais: suspensão, saltação e arraste, sendo que o primeiro tipo de transporte é pouco significativo na formação de dunas costeiras (Goldsmith, 1978 cit. por Pereira, 1987 & Rebêlo, 1995).

Para dar início ao movimento dos grãos de areia, a velocidade do vento tem que ser suficiente para vencer a acção da gravidade, responsável pela sua imobilidade. Os sedimentos podem ser mobilizados apenas pela acção do vento ou através do impacte que os grãos de areia em movimento provocam (Pereira, 1987; Rebêlo, 1995).

Os grãos de areia depositados nas zonas de praia são assim mobilizados e transportados pelo vento, até se depositarem e acumularem. Para se movimentarem, apenas por processos eólicos, o vento tem que atingir ou ultrapassar um valor limite, acima do qual a areia se começa a mover, denominado por velocidade de cisalhamento limiar do vento (Rebêlo, 1995). Este valor é definido consoante a densidade, dimensão e compactação dos grãos. A força de arrasto sedimentar tem que ser superior à força da gravidade para se iniciar o movimento dos grãos. Quando é atingido ou ultrapassado este valor os grãos de areia começam a movimentar-se. É o estado inicial do movimento (Rebêlo, 1995). Enquanto os sedimentos se encontram no ar adquirem energia proveniente do vento, que tende a libertar-se ou dissipar-se. Quando colidem com os grãos de areia em repouso, libertam energia e originam a sua movimentação por saltação. Ao mesmo tempo, parte da

energia é dissipada e proporciona pequenos movimentos aos grãos que se encontram adjacentes, deslocando-os por arraste (Pereira, 1987; Rebêlo, 1995).

A deposição de sedimentos por parte do vento pode estar relacionada tanto com o excesso de carga transportada como com a diminuição da sua velocidade, provocada pelo atrito com a superfície sobre a qual se desloca. A rugosidade da superfície depende da natureza dos materiais que a constituem, da sua morfologia, grau de cobertura pela vegetação e tipo de vegetação. Quanto mais rugosa for, mais atrito provoca, o que conduz a uma maior diminuição da velocidade, com posterior deposição e acumulação dos sedimentos transportados (Pereira, 1987; Pereira & Angelucci, 2004; Costa, 2001; Maun, 2009).

A vegetação, apesar de não ser um factor essencial no desenvolvimento de sistemas dunares costeiros, apresenta elevada importância, não só pelo aumento da rugosidade que confere às superfícies, promovendo a deposição e acumulação de areias, mas também por contribuir para a sua estabilização e fixação (Pereira, 1987; Rebêlo, 1995; Cruz, 1984; Costa, 2001).

Para além da vegetação, a deposição de sedimentos pode também estar relacionada com a existência de outro tipo de obstáculos à circulação do vento, que forcem a deposição das areias transportadas. Estas acumulações vão depender essencialmente do tipo de obstáculo, das suas dimensões e grau de permeabilidade (Pereira, 1987; Grafals-Soto, 2012).

2.2| PRINCIPAIS MORFOLOGIAS DUNARES EM PORTUGAL CONTINENTAL

Os sistemas dunares costeiros são bastante comuns no litoral de Portugal Continental. No entanto não apresentam todos as mesmas características, verificando-se uma grande diversidade morfológica. A sua morfologia depende das condições específicas inerentes à localização geográfica de cada sistema, assim como à própria morfologia do território envolvente, à disponibilidade sedimentar anual e à direcção e velocidade do regime de ventos local. A conjugação de todas estas condições conferem a cada sistema um processo de desenvolvimento singular (Rebêlo, 1995; Pereira, 1987; Pereira & Angelucci, 2004; Roxo *et al.*, 1992).

Inicialmente, a classificação dos sistemas dunares começou por ser essencialmente uma classificação geomorfológica. No entanto, outros sistemas de classificação foram sendo propostos, nos quais a noção de “dinâmica” se tornou indispensável, através da análise dos parâmetros que interferem no transporte eólico de sedimentos e que estão na base da formação de um sistema dunar costeiro (Gomes & Valverde, 2003). Em Portugal, a evolução da classificação dos sistemas dunares foi bastante influenciada pela classificação fitodinâmica enunciada por Carlos Souto Cruz em 1984 (Gomes & Valverde, 2003).

Em 1992, Roxo, Cruz, Amado e Cunha, identificaram e definiram táxones dunares correspondentes a estruturas geológicas e fitogeomorfológicas bem caracterizadas e individualizadas, que frequentemente ocorrem ao longo do litoral de Portugal Continental (Figura 1).

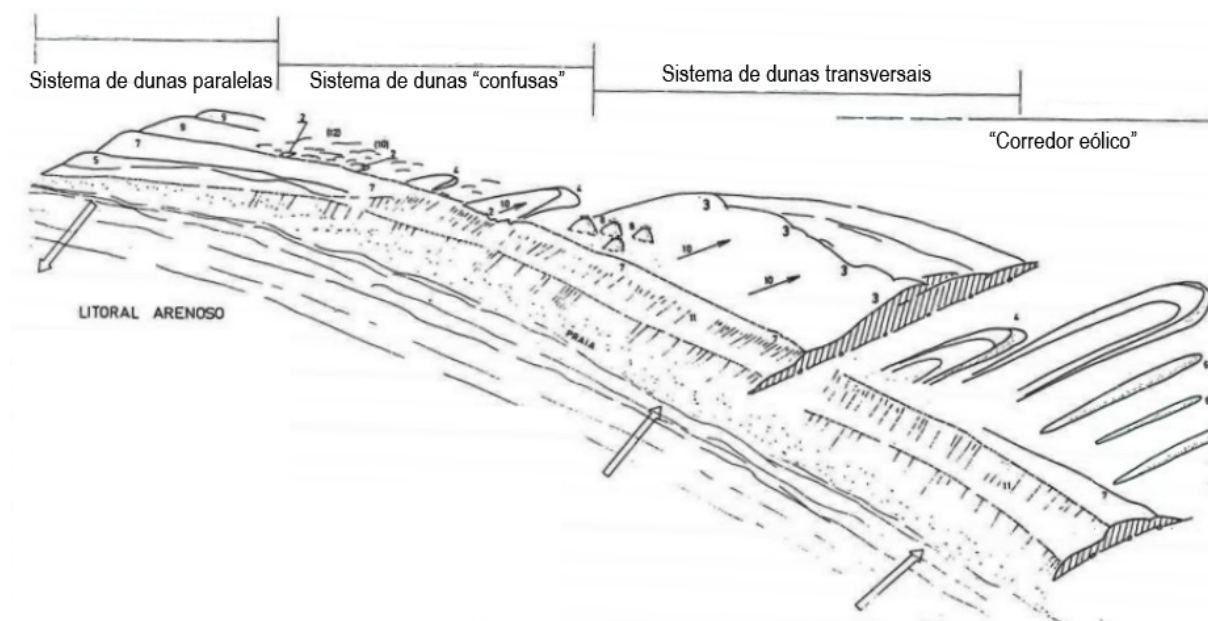


Figura 1. Diagrama dos principais sistemas dunares ocorrentes em litoral arenoso, Portugal Continental. Fonte: Adaptado de Roxo *et al.*, 1992

Entre os sistemas dunares identificados, torna-se importante referir no âmbito do presente estudo, os sistemas de dunas frontais e os “corredores eólicos”.

O primeiro sistema compreende a existência de dunas frontais dispostas paralelamente à linha de costa, que começam por se formar junto à zona de praia alta (Pereira, 1987; Hesp, 2002; Maun, 2009). O seu desenvolvimento está intimamente relacionado com o transporte eólico de sedimentos que ocorre da praia para o interior, aliado à sua retenção por parte da vegetação costeira (Roxo *et al.*, 1992; Psuty, 2004; Hesp, 2002).

Neste tipo de sistema dunar a existência de vegetação é um factor fundamental para a sua génese e manutenção. O desaparecimento das comunidades colonizadoras do sistema conduz também ao seu próprio desaparecimento, através do transporte dos sedimentos para o interior. Mesmo que exista deposição e acumulação sedimentar promovida por algum obstáculo, se não existirem condições para o desenvolvimento de vegetação o sistema nunca se tornará num sistema estável, e por isso tenderá a desaparecer com o tempo (Rebêlo & Brito, 2004; Rebêlo, 1995; Pereira & Angelucci, 2004; Hesp, 1988).

A ondulação e as marés arrastam e depositam na zona de praia detritos orgânicos que fornecem nutrientes necessários ao desenvolvimento das primeiras comunidades de herbáceas, pioneiras na colonização de sistemas dunares (Costa, 2001). Bem adaptadas morfológicamente e fisiologicamente, conseguem resistir à deficiente disponibilidade de recursos hídricos e nutrientes; à fraca fertilidade dos solos; à salinidade presente no solo e no ar; à acção mecânica do vento; à instabilidade do substrato arenoso; à excessiva luminosidade e às fortes amplitudes térmicas (Paixão, 2013; Pereira & Angelucci, 2004; Hesp, 1988; Pereira, 1987). O desenvolvimento e crescimento destas espécies constituem um obstáculo à circulação dos sedimentos

transportados pelo vento, promovendo a sua deposição e consequente acumulação. Desenvolvem-se assim pequenas acumulações sedimentares acima do nível do mar em preia-mar viva, denominadas por dunas embrionárias, essenciais ao desenvolvimento de todo o sistema.

Se a praia estiver em crescimento, consequência do aumento da acumulação de sedimentos, cria-se espaço de acomodação para a formação de uma nova duna, abaixo da duna pré-estabelecida, formando-se assim uma nova duna embrionária. O seu desenvolvimento confere uma maior protecção para o interior, no que diz respeito à diminuição do gradiente de salinidade e da intensidade dos ventos, permitindo o desenvolvimento de novas espécies, com diferentes adaptações (Rebêlo, 1995; Rebêlo & Brito, 2004; Paixão, 2011; Paixão, 2013; Pereira, 1987; Pereira & Angelucci, 2004). As comunidades de plantas pioneiras são progressivamente substituídas por comunidades de plantas com maior complexidade, em função das modificações dos factores bióticos e abióticos do ecossistema (Maun, 2009).

A repetição deste processo pode gerar uma sequência de dunas paralelas à linha de costa, ou seja, um sistema de dunas frontais

Quando o sistema atinge uma determinada dimensão o vento deixa de conseguir efectuar um transporte de sedimentos eficiente, o que conduz à sua estabilização (Rebêlo, 1995). No entanto, a destruição da vegetação existente promove a remobilização dos sedimentos até então estabilizados e leva à destruição do próprio sistema dunar. Pode-se considerar uma duna frontal como “uma entidade geológica viva, que nasce, cresce, estabiliza e morre” (Rebêlo & Brito, 2004).

Já os “corredores eólicos” são sistemas dunares transgressivos (Roxo *et al.*, 1992; Rebêlo, 1995). Os sedimentos migram para o interior e não existe a tendência de se acumularem indefinidamente junto à zona de costa, o que impossibilita a formação de dunas frontais (Rebêlo, 1995).

Estão frequentemente associados a praias existentes em vales encaixados, onde a morfologia do terreno promove uma aceleração do vento que dificulta a acumulação de sedimentos assim como a sua fixação pelas comunidades florísticas (Rebêlo, 1995). Deste modo, apesar da existência de sedimentos na zona de praia possíveis de serem mobilizados, assim como de vento capaz de promover essa mobilização, o intenso transporte eólico dificulta a fixação de vegetação e impede a formação de um sistema de dunas frontais (Rebêlo, 1995; Roxo *et al.*, 1992; McLachlan & Burns, 1992; Martinho *et al.*, 2008). Formam-se assim extensas áreas aplanadas promovidas pelo intenso transporte eólico, denominadas por *sand sheets* (Pereira, 1987; Rebêlo, 1995; Martinho *et al.*, 2008; Maun, 2009). No entanto, em épocas em que o regime eólico tem menor intensidade, é comum verificar-se o aparecimento de comunidades pioneiras na colonização de sistemas dunares, como a *Ammophila arenaria*, entre outras (Costa, 2001). A sua fixação promove a acumulação de areia em seu redor, formando pequenas dunas isoladas e desordenadas, denominadas por *Hummocky dunes* (Figura 2) (Rebêlo, 1995).



Figura 2. Duna do tipo Hummocky na praia do Guincho. Fonte: Arca de Darwin¹

O regime de vento de elevada intensidade, comum a este tipo de sistema dunar, tende a romper as acumulações que se conseguem formar em alturas de menor intensidade, através de *blowouts* (Figura 3) que transferem esses sedimentos acumulados para o interior (Rebêlo, 1995).

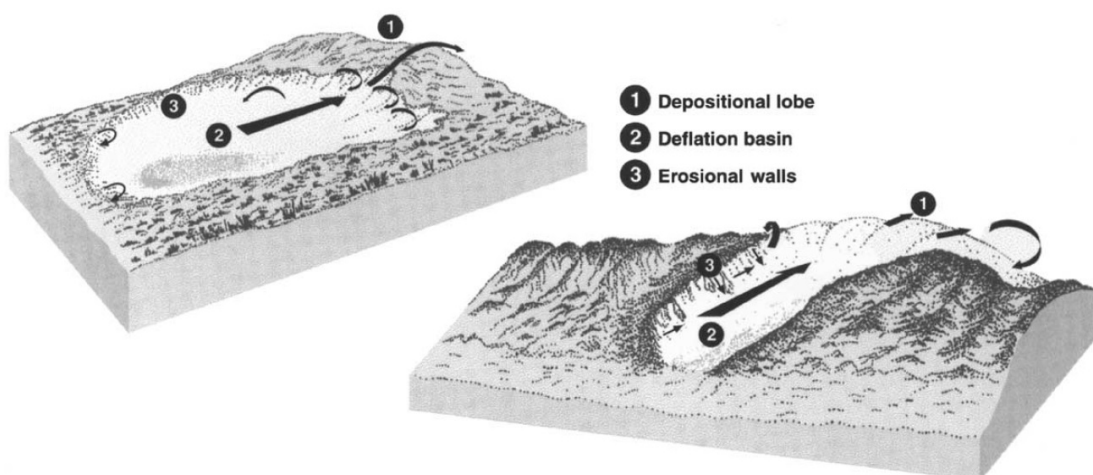


Figura 3. Diagrama esquemático sobre a formação de um blowout. Fonte: Hesp, 2002

Outro tipo de duna comum em sistemas dunares transgressivos são as dunas em forma de U ou dunas parabólicas. Estas formam-se quando uma massa de areia se movimenta sobre uma superfície que apresenta elevada capacidade de retenção da areia, quer seja pela presença de vegetação ou pelo seu elevado teor em humidade, relacionado com a possível proximidade ao lençol freático.

Deste modo, a fixação da areia ocorre mais rapidamente nas extremidades das acumulações sedimentares do

¹ Disponível em <http://www.arcadedarwin.com/2012/10/09/cresmina-vida-na-areia/cresmina_b7/>, Dezembro 2014

que no centro, uma vez que o centro apresenta acumulações de maior volume, mais difíceis de fixar (Pereira, 1987; Rebêlo, 1995; Costa *et al.*, 2000).

A parte central é assim transportada para o interior com uma velocidade superior às extremidades, conferindo a esta estrutura arenosa a forma de U (Pereira, 1987; Rebêlo, 1995; Costa *et al.*, 2000).

Em corredores eólicos também é comum a existência de estruturas arenosas semelhantes a dunas longitudinais. No entanto, estas são apenas o resultado da erosão de dunas parabólicas. A desigual velocidade de progressão da parte côncava e das extremidades provoca a rotura destas acumulações, originando dunas lineares, paralelas entre si e à orientação do vento dominante (Rebêlo, 2004; Pereira, 1987).

2.3| IMPORTÂNCIA E VULNERABILIDADES

Os sistemas dunares têm desempenhado um importante papel no decorrer de vários períodos da nossa história (Martínez *et al.*, 2004b; Heslenfeld *et al.*, 2004). Por excelência constituem uma protecção natural do território, num cenário em que o fenómeno da litoralização cada vez está mais evidente. São muitas vezes a única barreira entre o oceano e as populações, bens e infra-estruturas (Paixão, 2011; Martínez *et al.*, 2004b; Martínez *et al.*, 2004a).

A sua singularidade, proporcionada pela localização privilegiada que dispõe, atrai populações e actividades essencialmente relacionadas com o turismo e o recreio, que produzem uma importante plataforma de desenvolvimento económico (Martínez *et al.*, 2004a; Paixão, 2011; Taborda *et al.*, 2010). Compõem paisagens com forte identidade, cuja biodiversidade em espécies de flora e fauna lhe conferem um elevado interesse para conservação (Costa, 2001; Paixão, 2011; Heslenfeld *et al.*, 2004). Contêm uma enorme variedade de habitats que suportam a vida de inúmeras espécies, muitas delas endémicas, raras e com estatuto de protecção (Maun, 2009; Costa, 2001; Costa *et al.*, 2000).

A sua composição sedimentar não consolidada atribui a estes sistemas uma elevada permeabilidade, que contribui para a recarga de aquíferos. Para além disso, constituem também uma barreira à intrusão de água salgada nos lençóis freáticos, protegendo as reservas de água doce (Paixão, 2011).

Compreendem um património natural que deve ser preservado e conservado perante os recorrentes perigos a que estão sujeitos, tanto de origem natural como antrópica (Pereira & Angelucci, 2004; Everard *et al.*, 2010; Maun, 2009).

As diferentes actividades turísticas e de recreio, apesar de deterem importância ao nível do crescimento económico, na maior parte dos casos carecem de planeamento e conduzem a um aumento desregrado da pressão antrópica sobre os sistemas dunares, principalmente nos meses de Verão (Rebêlo, 1995; Paixão, 2013; Martínez *et al.*, 2004b).

O pisoteio desregrado é um dos principais factores da degradação geomorfológica e ecológica dos sistemas dunares não consolidados (Rebêlo, 1995; Paixão, 2013; Laranjeira, 2009). O desenvolvimento de uma rede de caminhos não ordenados para além de promover uma redução e eliminação das espécies dunares existentes,

origina também a fragmentação dos habitats, implicando o seu crescente isolamento assim como alterações nos padrões de distribuição de espécies e comunidades (Laranjeira, 2009). A estrutura interna do sistema também se modifica, contribuindo para a sua crescente instabilização, que é agravada pela circulação de veículos e cavalos (Rebêlo, 1995).

As extracções de areia mal conduzidas produzem também fortes modificações geomorfológicas e ecológicas, que põem em causa a estrutura biofísica de todo o sistema, assim como as construções em áreas desadequadas. Estas relacionam-se principalmente com estruturas de apoio turístico e infra-estruturas viárias mas também com construções clandestinas e mesmo urbanizações (Rebêlo, 1995; Paixão, 2013; Heslenfeld *et al.*, 2004). Para além da destruição do próprio sistema, colocam obstáculos à circulação do vento provocando alterações na sua direcção. Tal fenómeno tem graves implicações no transporte eólico de sedimentos, causando o desequilíbrio do restante sistema dunar (Rebêlo, 1995).

No entanto, não são só os perigos de carácter antrópico que colocam em risco estes sistemas. Devido à sua composição por sedimentos não consolidados, parcialmente estabilizados pela vegetação dunar, são bastante vulneráveis à subida do nível médio do mar. A subida de 470 mm em Portugal, até ao final do século XXI (Antunes e Taborda, 2009 cit. por Paixão, 2013) desencadeará inúmeros problemas no litoral, relacionados essencialmente com o recuo da linha de costa, a erosão marinha e a destruição de bens e infra-estruturas (Paixão, 2013; Martínez *et al.*, 2004a).

É do interesse de toda a sociedade humana a gestão racional e sustentável do litoral e de todos os seus sistemas, de modo a assegurar a sua manutenção e preservação, prevenindo a sua irremediável modificação ou destruição.

A ocupação do litoral como espaço de múltiplas funções pode existir, desde que em conformidade com os processos morfológicos e biológicos próprios destes sistemas. Deveria por isso existir um enquadramento legislativo com uma melhor aptidão na defesa da sua protecção, conservação e utilização equilibrada e sustentável.

Nos Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) estão incluídos objectivos que visam a salvaguarda dos recursos naturais presentes no litoral, assim como a protecção e valorização dos ecossistemas marinhos e terrestres que encerram (Decreto-Lei n.º 159/2012, de 24 de Julho. Artigo 6º). O regime de salvaguarda destes ecossistemas inclui uma zona terrestre de protecção, desde a margem das águas do mar até 500 metros para o interior, medidos na horizontal, ou até 1000 metros no máximo, caso se justifique para salvaguardar a integração dos sistemas biofísicos (Decreto-Lei n.º 159/2012, de 24 de Julho. Artigo 8º). No entanto, tendo em conta que inúmeros sistemas dunares se desenvolvem ao longo de muito mais do que 500 metros contados a partir da linha limite das margens do mar, e até mesmo por mais de 1000 metros, este documento legal, apesar de tentar salvaguardar os recursos existentes na orla costeira, revela-se ineficaz neste sentido, uma vez que não visa as condições necessárias à preservação total dos sistemas dunares assim como da flora e fauna que encerram.

2.4| PRINCIPAIS PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO

A pressão a que os sistemas dunares estão actualmente sujeitos causam muitas vezes a modificação da sua dinâmica singular e consequentemente a sua instabilidade e degradação. Assim, é essencial compreender o funcionamento de todo o sistema enquanto paisagem única, com características e processos próprios, de modo a verificar qual o melhor modo de o ajudar na recuperação do equilíbrio perdido.

Os métodos mais comuns de recuperação e conservação de sistemas dunares estão relacionados com: o controlo e remoção de espécies exóticas invasoras; a plantação de espécies da flora dunar, adaptadas às condições biofísicas locais; a introdução de estruturas de retenção de areia, como paliçadas, que funcionam como barreiras à circulação do transporte eólico e promovem, assim como a vegetação, a deposição e acumulação de sedimentos; o condicionamento de acessos e controlo do pisoteio através da implantação de percursos e a instalação de estruturas de apoio como sinalização adequada (Rebêlo, 1995; Paixão, 2013; Martínez *et al.*, 2004a; Martínez *et al.*, 2004b; Grafals-Soto & Nordstrom, 2009).

A plantação de vegetação, assim como a introdução de barreiras que provoquem a acumulação de areia, têm como principal objectivo a reposição sedimentar do sistema. Contribuem para a acumulação, fixação e crescimento das dunas, evitando a progressão da areia para o interior. Apesar de ambos os métodos serem utilizados com o intuito de aumentar a acumulação de sedimentos, ao mesmo tempo que promovem a sua fixação e estabilização, têm características muito diferentes (Rebêlo, 1995; Paixão, 2013; Paixão, 2011; Pereira, 1987).

O sistema radicular desenvolvido pelas espécies da flora dunar na busca de recursos hídricos e nutrientes, ajuda na fixação dos sedimentos, tendo ainda a vantagem de acompanhar o crescimento da duna. No entanto o seu crescimento e desenvolvimento nem sempre se concretizam, dada a sua vulnerabilidade face à pressão humana e às exigentes condições do meio. A forte intensidade com que o vento efectua o transporte sedimentar e a ausência de água doce podem ser determinantes para o insucesso da plantação, na medida em que dificulta a fixação das espécies no primeiro estado de desenvolvimento (Rebêlo, 2004; Pereira, 1987; Paixão, 2013).

Já as paliçadas, além de conseguirem promover uma retenção determinante para a reconstrução do sistema dunar, têm a vantagem de ser mais resistentes à pressão antrópica e às condições ambientais adversas. No entanto, uma vez atingida a sua capacidade de retenção, deixam passar toda a areia novamente.

A acumulação de sedimentos provocada por estas estruturas, assim como o desenvolvimento da própria morfologia dunar associada a essa acumulação está relacionada com: a permeabilidade da estrutura, a sua altura, a configuração que adquire no espaço e o afastamento entre fiadas, para além das características inerentes ao próprio local como o regime de ventos e a disponibilidade sedimentar (Rebêlo, 1995; Martínez *et al.*, 2004a; Grafals-Soto, 2012). A permeabilidade da estrutura determina o declive que a acumulação sedimentar adquire, sendo que uma menor permeabilidade conduz a acumulações mais declivosas (Grafals-Soto, 2012; Grafals-Soto & Nordstrom, 2009). De modo a reduzir a velocidade do vento e promover deposição sedimentar, sem funcionar como uma barreira intransponível, a permeabilidade deve estar entre os 25% e os 50% (Rebêlo,

1995).

A sua configuração no espaço, ou seja, o seu desenvolvimento segundo uma estrutura linear ou em ziguezague, define a forma como a crista da duna se desenvolve, sendo que uma configuração linear origina também uma crista linear, enquanto que uma configuração em ziguezague origina uma crista ondulatória (Grafals-Soto, 2012; Grafals-Soto & Nordstrom, 2009). Por fim, a altura destas estruturas influencia o volume final acumulado, sendo que maiores alturas produzem um maior volume (Grafals-Soto, 2012). A utilização de uma estrutura de paliçadas em ziguezague produz superfícies dunares com uma morfologia mais natural do que a utilização de uma estrutura de paliçadas linear, pois originam dunas mais amplas, com cristas ondulatórias e declives suaves (Snyder & Pinet, 1981 cit. por Grafals-Soto & Nordstrom, 2009). Além disso, esta configuração atribui uma maior estabilidade ao sistema, uma vez que produz acumulações com uma maior largura (Coates, 1981 cit. por Rebêlo, 2004).

A sua utilização na retenção de sedimentos é realizada na Europa desde inícios do século XV e actualmente é implementada por todo o mundo (Grafals-Soto & Nordstrom, 2009; Barrère, 1992; Heslenfeld *et al.*, 2004).

Cada vez é mais habitual a presença de paliçadas no litoral, dado o crescente reconhecimento da importância dos ecossistemas costeiros, assim como da necessidade de os recuperar e conservar. Se no passado eram vistas como estruturas de difícil enquadramento no sistema natural, actualmente já são consideradas como elementos culturais e parte integrante da paisagem (Grafals-Soto, 2012; Van der Meulen & Janssen, 1992). A sua marca no território manifesta essencialmente as consequências que os padrões de desenvolvimento urbano originaram, e contribuem de certa forma para a identidade cultural da paisagem (Grafals-Soto & Nordstrom, 2009).

Com o intuito de resolver o problema do pisoteio e consequente desestabilização da morfologia do sistema e destruição da vegetação existente, é também comum a implantação de percursos, que podem ser sobrelevados ou não, assim como de sinalética que oriente a circulação de visitantes.

CAPÍTULO 3|

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO CASO DE ESTUDO

O sistema dunar da praia do Guincho está integrado num outro sistema de maiores dimensões, designado por sistema dunar do Guincho-Oitavos. Este é um sistema dunar transgressivo, denominado por *headland bypass dunefield* (McLachlan & Burns, 1992; Rebêlo, 1995) ou corredor eólico (Roxo et al., 1978 cit. por Cruz, 1984; Roxo et al., 1992; Cardoso & Carvalho, 2003), que se inicia nas praias do Guincho e da Cresmina e termina na escarpa de erosão marinha entre Oitavos e a Guia (Rebêlo, 1995). É um sistema dunar com características singulares em Portugal devido à conjugação entre o regime de ventos local e a orientação da linha de costa (Rebêlo, 1995).

Para compreender a dinâmica e evolução deste sistema particular é necessário compreender o funcionamento do sistema na sua totalidade.

3.1| LOCALIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO

O sistema dunar do Guincho-Oitavos localiza-se no Parque Natural de Sintra-Cascais. Encontra-se no extremo oeste do concelho de Cascais, rodeado a norte pela Serra de Sintra, a oeste pelo Cabo Raso e a este por Areia e Birre (Figuras 4 e 5) (Baltazar & Martins, 2005; Rebêlo, 2004).



Figura 4. Enquadramento geográfico da área de estudo

Desenvolve-se ao longo de aproximadamente 4 quilómetros de comprimento e 750 metros de largura, desde as praias do Guincho e da Cresmina até à escarpa de erosão marinha entre Oitavos e o farol da Guia (Figura 5), segundo uma orientação NNW-SSE (Rebêlo, 2004).



Figura 5. Localização e enquadramento da área de estudo e do corredor eólico do Guincho-Oitavos, demarcado sobre o ortofotomapa

A área de estudo compreende uma pequena parcela do sistema dunar do Guincho-Oitavos, correspondente às dunas do troço sul da praia do Guincho. É limitada a Sul pela Estrada Nacional 247, a Oeste pelo restaurante Muchaxo e a Este pela Ribeira Grande do Guincho, compreendendo um total de 9,7 hectares (Figura 6).

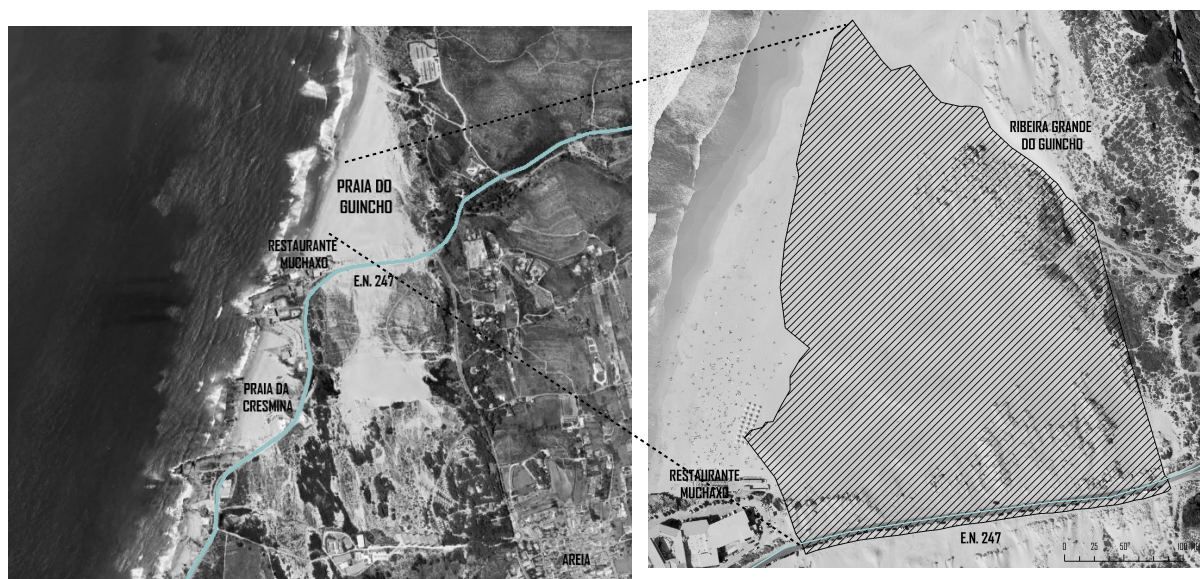


Figura 6. Localização da área de estudo

3.2| ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

O sistema dunar do Guincho-Oitavos desenvolve-se sobre uma região aplanada, localizada na zona oeste da Plataforma de Cascais. Esta, assim como as praias do Guincho e da Cresmina, é constituída por um substrato rochoso que data do Cretácico (Rebêlo, 1995).

A camada mais antiga encontra-se a Norte da praia do Guincho e é composta essencialmente por calcários e margas. Seguidamente encontram-se camadas de arenitos argilosos, calcários, arenitos e argilas, sendo que estas duas últimas se encontram cobertas por areia de praia. A sul da praia do Guincho encontra-se a camada mais recente, que é composta por arenitos, argilas, margas e calcários. Por cima das rochas cretácicas observam-se depósitos de cobertura, compostos essencialmente por cascalho, areias, siltes e argilas. As areias de praia e as dunas constituem os depósitos modernos (Ramalho *et al.*, 1981; Rebêlo, 1995).

Na praia do Guincho verifica-se também um afloramento singular de composição basáltica, correspondente a uma chaminé vulcânica. Apresenta 200 metros de comprimento, segundo a direcção NW-SE, e 60 metros de largura (Real, 1951 cit. por Rebêlo, 2004). É possível observar a sua extremidade NW durante a maré baixa, sendo que o restante afloramento se encontra coberto por água ou areia de praia (Rebêlo, 2004).

A costa de Cascais apresenta inúmeras saliências e concavidades, de acordo com o grau de dureza da litologia presente. A praia do Guincho encontra-se associada a uma concavidade existente no troço NNE-SSW, tendo-se formado numa zona de depressão morfológica, aberta na direcção do mar, com uma largura máxima de 500 metros e um comprimento de aproximadamente 1 quilómetro (Rebêlo, 1995). No centro dessa depressão desagua a Ribeira Grande do Guincho. Apesar da parte final do seu leito se encontrar coberta por areias durante a maior parte do ano, em alturas de chuva intensa o seu caudal tem capacidade para penetrar no cordão arenoso, e desaguar directamente no mar (Rebêlo, 1995).

Antes de existir a Estrada Nacional 247, a transição entre a depressão da praia do Guincho e as dunas da Cresmina era realizada por uma superfície aplanada com um declive suave. No entanto, a sua construção no final dos anos 40, início dos anos 50, compreendeu a introdução de aterros que aumentaram o declive que separa estas duas áreas, provocando uma alteração na morfologia anteriormente existente (Rebêlo, 2004).

Uma interessante evidência da migração sedimentar sobre as rochas calcárias do Cretácico é a existência de ventifactos ao longo do corredor dunar. O intenso transporte eólico de sedimentos produz um impacto sobre as formações rochosas, provocando a sua erosão e deixando a sua marca no território.

A conjugação da geomorfologia aplanada com a existência de uma zona de alimentação sedimentar a Norte e a forte acção dos ventos provenientes de NW origina este sistema dunar particular (Rebêlo, 1995), considerado como um dos corredores dunares mais notáveis da Europa (Cardoso & Carvalho, 2003).

3.3| CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA DINÂMICA E DO ESTADO ACTUAL DO SISTEMA DUNAR

3.3.1| Dinâmica do sistema dunar do Guincho-Oitavos

O litoral do concelho de Cascais é caracterizado por uma linha de costa bastante recortada, que dá origem a um cabo, neste caso, o Cabo Raso. Nesta zona, entre a praia do Guincho, Farol da Guia e Farol do Cabo Raso, existem quatro sistemas dunares, sendo que apenas um ainda se encontra actualmente activo (Rebêlo, 2004). Este sistema designa-se por sistema dunar do Guincho-Oitavos e apresenta características particulares e pouco comuns aos sistemas dunares encontrados em Portugal (Rebêlo, 1995).

O recorte da linha de costa aliado à geomorfologia aplanada e às condições do regime eólico local, promovem o transporte da areia depositada nas praias do Guincho e da Cresmina para o interior. Migram sobre a plataforma rochosa do Cabo Raso através de um percurso de aproximadamente 4 quilómetros, segundo o sentido N161°E correspondente à resultante do transporte eólico, até à escarpa de erosão marinha entre Oitavos e a Guia (Rebêlo, 1995). Neste local os sedimentos regressam novamente ao mar, voltando a areia a estar disponível para o sistema da deriva litoral, ao contrário de outros sistemas dunares, onde a areia migra para o interior e é colonizada por vegetação até se fixar e estabilizar (Rebêlo, 2004). É por isso classificado como um sistema dunar transgressivo singular, denominado por *headland bypass dunefield* (Tinley, 1985 cit. por Rebêlo, 2004; McLachlan e Burns, 1992 cit. por Rebêlo, 2004) ou corredor eólico (Roxo *et al.*, 1978 cit. por Cardoso & Carvalho, 2003; Roxo *et al.*, 1992; Cruz, 1984), dada a peculiaridade da sua génese geomorfológica (Cruz, 1984).

O intenso transporte eólico não permite que a vegetação se fixe junto à linha de costa, impedindo a formação de dunas frontais. Desenvolve-se assim uma extensa área aplanada, que quando sujeita a ventos fortes no sentido

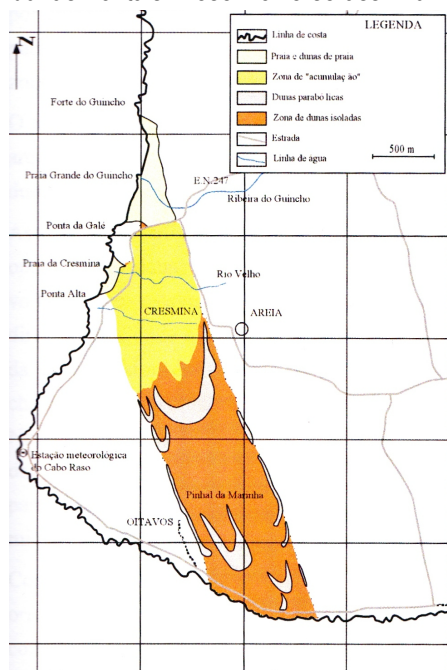


Figura 7. Principais ambientes do sistema dunar do Guincho-Oitavos. Fonte: Rebêlo, 2004

do interior, favorece um intenso transporte eólico (Rebêlo, 2004). As zonas de praia, do Guincho e da Cresmina, funcionam assim como fonte de alimentação de sedimentos para todo o sistema.

Ao longo do corredor eólico existem diferentes tipos de dunas, em diferentes ambientes (Figura 7). Se considerarmos o sentido zona de alimentação – zona de descarga, o primeiro ambiente identificado é o ambiente de praia, ou seja, a zona de alimentação do sistema (Rebêlo, 2004). Devido à dificuldade de fixação da vegetação nesta área, dado o aumento da velocidade do vento por razões morfológicas, as acumulações sedimentares existentes apresentam uma elevada mobilidade. São por isso muito instáveis e facilmente transportadas para o interior. No entanto, em períodos de vento mais fraco a vegetação adquire capacidades para se propagar, verificando-se inicialmente o desenvolvimento de *Ammophila arenaria* (Rebêlo, 2004). Esta espécie costuma desenvolver-se em locais onde a areia

possui uma mobilidade elevada, sendo que em sistemas de dunas frontais se encontra essencialmente na duna embrionária e primária (Costa, 2001; Rebêlo, 2004). Em sistemas transgressivos, devido ao intenso transporte sedimentar para o interior, a *Ammophila arenaria* surge com uma distribuição espacial mais alargada, aumentando a sua presença conforme nos deslocamos para o interior, em vez de se encontrar apenas na frente de praia (Rebêlo, 2004). A sua instalação promove a acumulação de sedimentos em seu redor, o que caracteriza o segundo ambiente, definido como a zona de acumulação. Os sedimentos acumulados em torno da *Ammophila arenaria* formam dunas do tipo hummocky (Rebêlo, 2004). Num sistema transgressivo a areia não se pode acumular indefinidamente. Migra para o interior através de processos de desestabilização das dunas anteriormente formadas, provocados pelo vento de forte intensidade (Rebêlo, 1995). Quanto mais areia é retida no início do desenvolvimento do sistema por vegetação adaptada a condições adversas, maior é a possibilidade de outras espécies se começarem a desenvolver mais para o interior, onde o transporte eólico de sedimentos tem menor intensidade e permite o desenvolvimento de outras espécies com diferentes adaptações (Cruz, 1984; Costa, 2001; Rebêlo, 2004).

O terceiro ambiente é caracterizado por uma zona de dunas parabólicas isoladas. A areia migra para o interior e o atrito proporcionado pela existência de vegetação rasteira tende a fixar os sedimentos em movimento (Rebêlo, 2004). No entanto, esta não tem capacidade para parar o movimento de toda a areia, conseguindo apenas fixar as extremidades das acumulações. Deste modo, a parte central das acumulações sedimentares desloca-se mais rapidamente do que as suas extremidades, originando dunas parabólicas com uma direcção predominante de NW – SE (Cruz, 1984; Rebêlo, 2004). Para além destas, observam-se também estruturas dunares lineares semelhantes a dunas longitudinais, paralelas à direcção do corredor eólico, que se encontram localizadas essencialmente ao longo da sua fronteira. Porém correspondem apenas a partes de dunas parabólicas, cuja parte central se deslocou mais rapidamente do que as extremidades, levando à ruptura do corpo dunar (Rebêlo, 1995). Por este motivo as dunas longitudinais são por vezes consideradas como a fase final das dunas parabólicas (King, 1959 cit. por Cruz, 1984).

Esta diferenciação de ambientes pode constituir uma base para a gestão sustentável do presente sistema dunar. Conhecer a sua dinâmica natural é uma ferramenta essencial para saber quais as medidas de conservação mais adequadas, de modo a não quebrar o equilíbrio do sistema. A sua configuração depende essencialmente de três factores: da quantidade de vegetação que se consegue desenvolver; da areia disponível para ser transportada e da variação de energia proporcionada pelo regime de ventos (Rebêlo, 2004; Cardoso & Carvalho, 2003). Em períodos de vento com fraca intensidade, a vegetação adquire condições mais favoráveis ao desenvolvimento, resultando numa maior acumulação de sedimentos. No entanto, em períodos de vento com elevada intensidade, a vegetação tem dificuldades em se desenvolver e observa-se uma migração mais acelerada da areia para Sul (Rebêlo, 2004; Cardoso & Carvalho, 2003).

Actualmente estima-se que a quantidade de areia que está a entrar no sistema seja superior à que está a ser mobilizada (Rebêlo, 2004).

3.3.1.1| Principais modificações provocadas pela acção antrópica

A acção do Homem tem grande influência na evolução de um sistema dunar, sendo capaz de provocar significativas alterações na sua dinâmica. Ao longo de vários períodos da história, várias foram as suas intervenções na paisagem em estudo. No entanto, foi a partir de meados do século XX que a sua actividade provocou maiores alterações ao processo de evolução natural do sistema (Rebêlo, 2004). Destacam-se: a plantação de um pinhal desde a Cresmina até Oitavos, do qual actualmente só persiste uma parte denominada por Pinhal da Marinha; a implantação de infra-estruturas sobre o corredor dunar; a introdução de barreiras artificiais em localizações desadequadas; a construção da Estrada Nacional 247 nos finais dos anos 40, início dos anos 50; a construção e ampliação de estruturas de apoio turístico; o intenso pisoteio e a exploração sedimentar (Rebêlo, 1995).

O actual Pinhal da Marinha atingiu outrora uma extensão muito superior à que tem hoje em dia, cobrindo o corredor dunar desde a Cresmina até Oitavos. Simultaneamente à sua plantação foram instaladas paliçadas na zona Norte do sistema, entre o Guincho e a Cresmina. O intuito era promover a acumulação de sedimentos a Norte e deste modo permitir o crescimento e desenvolvimento dos pinheiros, que tinham como objectivo a imobilização das areias (Rebêlo, 2004). No entanto, como este sistema é um sistema transgressivo, o abandono da manutenção das paliçadas colocadas a Norte, assim como o pisoteio da vegetação existente nesta zona, fez com que toda a areia até então acumulada, seguisse o seu trajecto natural para Sul, acabando por soterrar os pinheiros na zona da Cresmina (Rebêlo, 2004). Contudo, foram imobilizadas as dunas parabólicas existentes no corredor dunar (Rebêlo, 2004), facto que não teria acontecido se o sistema não tivesse sido sujeito a intervenções por parte do Homem. Como já foi referido anteriormente, a instalação de paliçadas tem vindo a decorrer ao longo do tempo, com o intuito de promover a retenção de areias a Norte. O seu principal objectivo é permitir o desenvolvimento de vegetação a Sul, que em condições de intenso transporte eólico para o interior não se consegue desenvolver. No entanto, a sua instalação em localizações desadequadas, como na zona de alimentação do sistema, promove acumulações sedimentares em desequilíbrio com as condições de vento aí existentes (Rebêlo, 1995). Num sistema transgressivo, os sedimentos não se acumulam indefinidamente, e por isso, a sua migração para Sul é inevitável. A desestabilização dos grandes volumes de areia acumulados na parte norte do sistema e consequente migração dessa areia para sul, contribuem para o soterramento e desaparecimento das espécies até então desenvolvidas (Rebêlo, 1995).

A construção de infra-estruturas sobre as dunas anteriormente fixas, como estradas, habitações, parques de campismo, campo de golfe, entre outras, interrompe a dinâmica natural do corredor dunar, tornando a parte Sul do sistema inactiva (Figura 8) (Rebêlo, 1995; Cardoso & Carvalho, 2003). Tal ocupação é incompatível com o deslocamento de grandes volumes sedimentares para Sul, e tornou impossível a evolução natural do sistema.

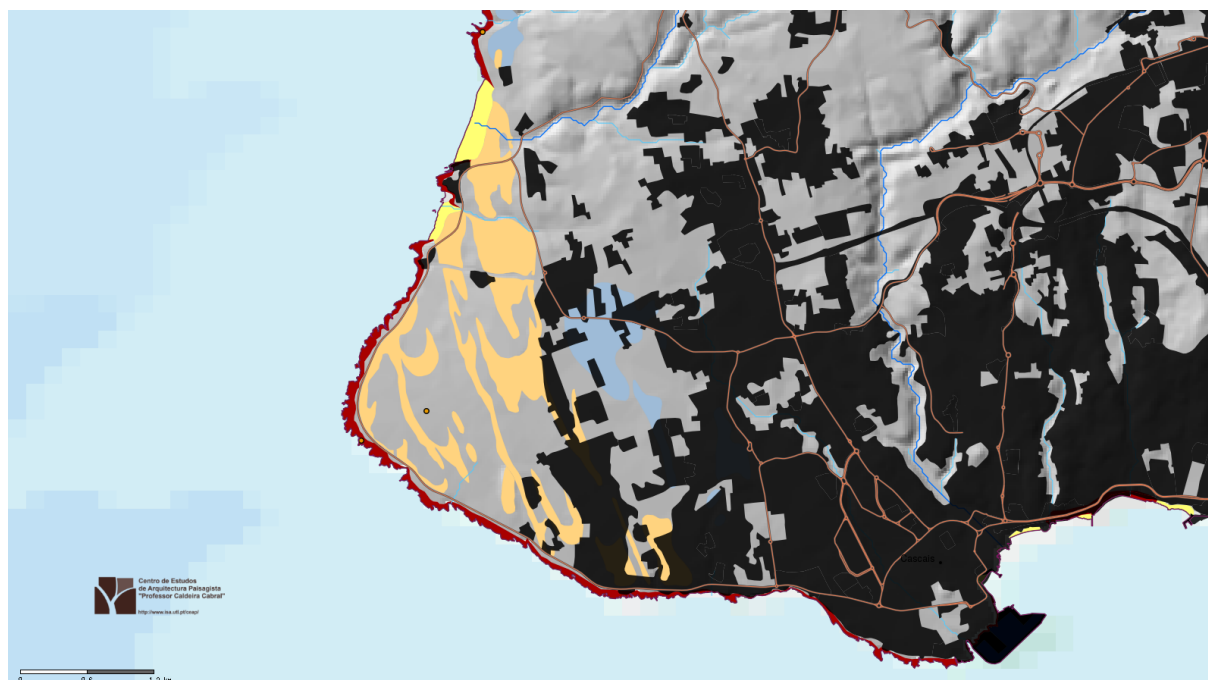


Figura 8. Sobreposição das componentes do litoral a proteger presentes na estrutura ecológica nacional proposta pelo CEAP, com a área edificada existente. Construções sobre o corredor eólico interrompem a sua dinâmica natural, tornando-o inactivo a Sul. Fonte: CEAP²

A construção da Estrada Nacional 247 envolveu a execução de um aterro, que modificou o fluxo de vento, aumentando a turbulência a sul da estrada e favorecendo a remoção de areia desse local. Causou a segmentação do sistema dunar e aumentou a acção antrópica no sistema, que envolve tanto a circulação de veículos como o pisoteio desregrado (Rebêlo, 1995). Associada a esta construção, surgiu o aumento do restaurante Muchaxo e respectivas estruturas de apoio turístico, que funcionam como uma barreira à livre circulação do vento e ao transporte eólico de sedimentos. Provocam alterações na sua trajectória e intensidade, modificando o padrão do transporte eólico nesta zona. Tal fenómeno impede a realimentação do sistema a Sul da estrutura, o que constitui um impacte negativo no equilíbrio dinâmico do sistema (Rebêlo, 1995).

Os acessos e estruturas de turismo e lazer aumentaram a pressão antrópica sobre o sistema, aumentando consequentemente o pisoteio, incluindo a circulação de veículos e cavalos sobre a vegetação existente e as acumulações de areia não consolidadas, contribuindo para a destabilização do sistema (Rebêlo, 1995).

Por último, as explorações de areia modificam a morfologia característica do sistema, originando muitas vezes clareiras onde deveriam existir acumulações. No entanto, consoante os locais escolhidos tem diferentes consequências, que pode resultar numa destruição maior ou menor da vegetação e da estrutura das acumulações sedimentares, com maior ou menor risco de promover a mobilização de areias sobre zonas já estabilizadas por vegetação (Rebêlo, 1995).

2 Disponível em <http://epic-webgis-portugal.isa.ulisboa.pt/pmapper/map_default.phtml>, Fevereiro 2015

3.3.2| Caracterização e análise do estado actual do troço sul do sistema dunar da praia do Guincho

A área de estudo, como já foi referido, compreende o troço sul do sistema dunar da praia do Guincho, que se localiza no extremo Norte do corredor eólico do Guincho-Oitavos. Encontra-se enquadrado pela Estrada Nacional 247 a Sul, pelo restaurante Muchaxo a Oeste e a Ribeira do Guincho a Este, compreendendo um total de 9,7 hectares.

Actualmente apresenta uma duna frontal junto à zona de praia, formada devido à introdução de paliçadas em 2010, na sequência do Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina (Figura 9).



Figura 9. Introdução de paliçadas no sistema dunar da praia do Guincho em 2010. Fonte: Grande Hotel³

Ordenadas em fiadas, paralelas entre si, funcionaram como barreira ao transporte eólico de sedimentos e promoveram a sua acumulação. Estas têm vindo a ser repostas na frente de praia uma vez por ano e é possível observar a sua existência ao longo de todo o sistema.

O cordão dunar frontal desenvolve-se segundo uma orientação SSO-NNE e adquire altitudes que, actualmente, vão dos 10 aos 15 metros (Figura 10).

³ Disponível em <<http://umgrandehotel.blogspot.pt/2011/02/praiado-guincho-inverno-2010-2011.html>>, Janeiro de 2015



Figura 10. Cordão dunar frontal formado após a introdução de paliçadas

Nesta zona é possível observar o desenvolvimento de essencialmente duas espécies de vegetação: *Elymus farctus ssp. boreo-atlanticus* e *Ammophila arenaria ssp. arundinacea*. A sua propagação foi promovida pelas plantações realizadas no âmbito do projecto de recuperação já referido, onde foram escolhidas espécies da flora dunar local.

Adaptadas às condições biofísicas locais, rapidamente colonizaram este ecossistema, contribuindo para a retenção e fixação dos sedimentos.

No extremo NNE observa-se também uma acumulação de sedimentos, mas bastante diferente da acumulação verificada na frente de praia, dada a sua estabilização e fixação por parte da vegetação dunar.

Após a duna frontal segue-se uma depressão morfológica que vai aumentando gradualmente de cota à medida que se aproxima da Estrada Nacional 247 (Figura 11).



Figura 11. Depressão morfológica que se desenvolve por trás do cordão dunar frontal e se prolonga até à Estrada Nacional 247.

À medida que nos deslocamos para o interior, é possível observar o desenvolvimento de outras espécies, para além das já referidas, como por exemplo *Eryngium maritimum*, *Lotus creticus*, *Pancratium maritimum*, *Otanthus maritimus* e *Artemisia crithmifolia*.

Na zona de maior altitude, encontra-se também uma grande acumulação sedimentar, onde se observam marcas de *blowouts*, formados em episódios de intensa actividade eólica, que arrastou para o interior os sedimentos previamente acumulados. Para além destas, muitas são as marcas presentes na paisagem que evidenciam a direcção preferencial do vento (Figura 12), sendo que a resultante do transporte eólico tem uma orientação N161°E (Rebêlo, 2004).



Figura 12. Marcas da forte intensidade e direcionalidade do vento na área de estudo.

CAPÍTULO 4|

MÉTODOS

O cumprimento dos objectivos propostos para a presente dissertação baseou-se em quatro métodos principais:

1. Elaboração de um modelo digital do terreno (MDT) correspondente à actual superfície do sistema dunar;
2. Comparação do MDT obtido com um MDT já existente, referente ao sistema dunar no passado, de modo a quantificar as alterações morfológicas ocorridas na superfície, calcular a acumulação eólica ocorrida e inferir a taxa de acumulação anual;
3. Elaboração de um MDT correspondente a uma eventual superfície teórica representativa de uma topografia resultante da acumulação eólica, relativo a uma situação futura;
4. Comparação da superfície teórica desenvolvida com a superfície correspondente ao actual sistema dunar, para a obtenção do volume de acomodação sedimentar e determinação do tempo que demorará para que o desenvolvimento natural do sistema interaja negativamente com a Estrada Nacional 247, caso as condições inerentes ao processo de acumulação eólica se mantenham idênticas ao intervalo de tempo analisado.

4.1| MODELOS DIGITAIS DO TERRENO

A resposta do sistema face às alterações a que foi submetido pode ser observada através da comparação de superfícies correspondentes a diferentes períodos de tempo. Deste modo, e de forma a verificar quais as alterações morfológicas que ocorreram no sistema dunar da praia do Guincho nos últimos anos, optou-se pela utilização de modelos digitais do terreno que representem a superfície do sistema: numa situação actual e numa situação de referência, correspondente a um período de tempo anterior.

4.1.1| Situação de referência

As alterações no sistema dunar que interessam analisar no âmbito do presente estudo, surgiram após a intervenção ocorrida em 2010, com o Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina, e por isso, torna-se conveniente que a superfície de referência seja posterior a esta data.

Em 2011, a Direcção Geral do Território (DGT) em parceria com a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA, I.P.), o Instituto Geográfico Português (IGP) e o Instituto da Água, I.P. (INAG), e com o apoio do Programa Operacional de Valorização do Território (POVT), no âmbito do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN), adquiriu um conjunto de dados geográficos da faixa litoral de Portugal Continental através de levantamentos aerofotogramétricos.

Entre eles, destacam-se os dados adquiridos com tecnologia LiDAR – *Light Detection and Ranging* – e

consequentes modelos digitais do terreno, que constituem um ponto de partida para inúmeros estudos de ordenamento e gestão de zonas costeiras.

O nível de detalhe do modelo, as áreas por ele abrangidas e o período em que foi adquirido, constituem os principais motivos da sua escolha, enquanto superfície de referência para quantificar e representar as alterações ocorridas no sistema dunar.

4.1.1.1| Base teórica sobre a tecnologia LiDAR

LiDAR – *Light Detection and Ranging* – é uma tecnologia de detecção remota, que funciona através da emissão de feixes laser (habitualmente a partir de plataformas aéreas) para a superfície terrestre (Reutebuch *et al.*, 2005; Woolard & Colby, 2002). O feixe laser é emitido para a superfície, que o reflecte, e reenvia, sendo posteriormente detectado pelo sensor presente no equipamento (Figura 13). É a diferença de tempo entre a emissão do feixe e a recepção da sua reflexão que determina a distância a que se encontra da superfície (National Oceanic and Atmospheric Administration & (NOAA) Coastal Services Center, 2012).

Ao sobrevoar uma área recolhe informação precisa sobre a sua topografia, através da aquisição das suas coordenadas planimétricas e altimétricas. Estas são atribuídas essencialmente com base: na diferença de tempo entre a emissão do laser e a recepção da sua reflexão; no ângulo com que o feixe é emitido; e na localização do sensor LiDAR sobre a superfície terrestre (National Oceanic and Atmospheric Administration & (NOAA) Coastal Services Center, 2012; Ussyshkin & Theriault, 2011; Lefsky *et al.*, 2002). O resultado é uma malha densa de pontos cotados, que cobre toda a área, cada um com coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) correspondentes a um único ponto na superfície terrestre (Lang *et al.*, 2010).

Esta tecnologia é bastante utilizada para cartografar o terreno, e produzir uma grande diversidade de informação geográfica, como modelos digitais do terreno, curvas de nível, entre outros (Reutebuch *et al.*, 2005; Dassot *et al.*, 2011).

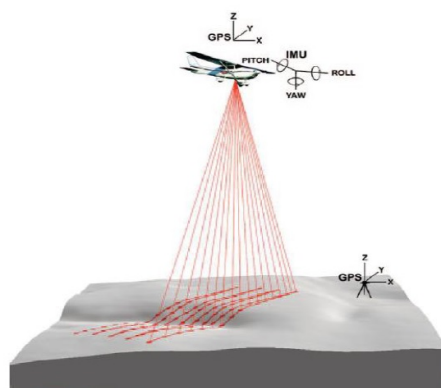


Figura 13. Esquema da recolha de dados altimétricos através de tecnologia LiDAR a partir de uma plataforma aérea. Fonte: Reutebuch, 2005

4.1.1.2| Caracterização do levantamento

O levantamento efectuado com tecnologia LiDAR utilizado no presente estudo realizou-se com a utilização do sistema ALS60 (Leica ALS60), que actua a partir de uma plataforma aérea, e foi criado especialmente para adquirir modelos de terreno bastante precisos e detalhados.

Os voos realizaram-se em 10 dias, entre 17 de Novembro de 2011 e 7 de Dezembro de 2011, compreendendo uma faixa do litoral que se estende 400 metros em terra. Os pontos adquiridos foram posteriormente processados com o software LSS (Lidar Survey Studio) da AHAB.

Dos dados fornecidos destacam-se o modelo digital do terreno com resolução de 1 metro, assim como as curvas de nível correspondentes, e o ortofotomapa de 2008 com resolução de 10 centímetros.

Os dados encontram-se no sistema de referência PT-TM06/ETRS89 e a referência vertical é o Datum Altimétrico de Cascais Helmert 38.⁴

4.1.2| Situação actual

Para possibilitar a realização de comparações com o modelo digital do terreno do ano de 2011 e possibilitar a verificação das alterações que ocorreram ao longo deste intervalo de tempo no que diz respeito à morfologia do sistema foi necessário obter informação altimétrica da superfície dunar actualizada. Optou-se assim, neste trabalho, e devido à existência de um MDT de 2011 que poderia servir de superfície de referência, pela elaboração de um modelo digital do terreno correspondente ao actual sistema dunar da praia do Guincho. A escolha da elaboração de um MDT, em detrimento da obtenção de pontos cotados sobre uma base de monitorização já existente, deveu-se ao facto deste método permitir uma melhor caracterização da superfície real, possibilitando assim cálculos volumétricos mais precisos.

Contrariamente ao modelo de referência, este não foi obtido através de um levantamento topográfico pré-existente. O levantamento que precedeu a elaboração deste MDT foi realizado no âmbito do presente estudo.

4.1.2.1| Escolha do método de levantamento

O método de levantamento topográfico escolhido deveria permitir obter uma superfície com o detalhe suficiente para caracterizar a morfologia dunar e para descrever a sua altimetria de forma a poder ser comparada com o MDT de referência, proveniente do LiDAR. Para além de preciso, deveria também ser versátil e de fácil utilização, dadas as características morfológicas do terreno.

Tendo em conta que as irregularidades e a fácil mobilidade da superfície dunar, assim como a existência de vegetação desenvolvida, condicionam o deslocamento sobre a superfície. O método de levantamento utilizado deveria contar com as presentes condicionantes, para não comprometer a sua realização.

A análise de estudos de gestão e monitorização costeira realizados em litorais arenosos, que compreendem praias e sistemas dunares, de autores como Mitsova *et al.*, 2005; Navarro *et al.*, 2011; Mills *et al.*, 2005; Yang *et*

4 Informações provenientes de um ficheiro .xml disponibilizado pela DGT.

al., 2010; Bertoni & Sarti, 2011; Rebêlo, 2004; Lourenço *et al.*, 2013; Baptista *et al.*, 2008, destacou a utilização de sistemas GPS na realização de levantamentos topográficos, mais propriamente tecnologias de GPS Diferencial (dGPS).

Este é referenciado como um dos melhores métodos de levantamento topográfico para monitorização de sistemas dunares (Navarro *et al.*, 2011), com a melhor precisão nesta escala de trabalho (Mills *et al.*, 2005).

Deste modo, e por nos parecer que seria o método mais adequado, foi escolhido o GPS diferencial para recolher um conjunto de pontos que permitissem elaborar um MDT adequado às necessidades do estudo.

4.1.2.2| Base teórica sobre a tecnologia GPS

GPS ou *Global Positioning System* (Sistema Global de Posicionamento) é um sistema de posicionamento e navegação a nível global, que utiliza um conjunto de satélites posicionados acima da superfície terrestre para determinar localizações geográficas (Matos, 2008). É um sistema norte-americano, e o mais utilizado pela maior parte dos utilizadores, apesar da existência de outros, como o sistema europeu (GALILEO), ainda em fase de implementação e teste, o sistema russo (GLONASS), o sistema chinês (Beidou) e o sistema indiano (IRNSS) (Coelho & Ribeiro, 2007). A designação GNSS (*Global Navigation Satellite System*) surge assim para referir a totalidade dos sistemas de posicionamento global por satélite (Coelho & Ribeiro, 2007).

O sistema GPS utiliza um conjunto de 24 satélites, que estabelecem a constelação NAVSTAR (*Navigation by Satellite Timing and Ranging*), e encontram-se distribuídos em seis planos orbitais, aproximadamente a 20 200 quilómetros acima da superfície terrestre (Ashby, 2003; Matos, 2008). Cada satélite percorre a sua órbita em torno da Terra duas vezes por dia e contém quatro relógios atómicos. Estes relógios são baseados nas propriedades de estabilidade de um átomo, frequentemente de Césio ou Rubídio, que lhes atribuem características especiais de precisão, desempenhando um excelente papel enquanto referência temporal (Coelho & Ribeiro, 2007). O posicionamento é possível sempre que se encontrem visíveis pelo menos quatro satélites, quer na superfície terrestre quer na atmosfera envolvente (Coelho & Ribeiro, 2007; Matos, 2008).

Cada satélite funciona como um ponto de referência, dada a grande precisão com que as suas órbitas são monitorizadas a partir de várias estações de rastreio distribuídas à superfície terrestre e através de uma estação de controlo principal localizada em Colorado Springs (Matos, 2008). São também monitorizados pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, duas vezes por dia, onde é realizado o controlo do seu estado operativo, assim como o estado dos seus relógios (Coelho & Ribeiro, 2007; Matos 2008).

Cada equipamento GPS é constituído por uma antena, cuja função é captar os sinais emitidos pelos satélites, e por um receptor, onde estão incluídos os componentes de software e hardware, indispensáveis ao funcionamento do sistema. Cada receptor contém também um relógio, que se encontra sincronizado com os relógios atómicos dos satélites (Coelho & Ribeiro, 2007; Matos, 2008).

Os satélites transmitem as suas próprias coordenadas através da emissão de sinais de rádio aos receptores, localizados na superfície terrestre ou na atmosfera envolvente. O posicionamento de pontos à superfície

terrestre é realizado através da medição do tempo necessário para que os sinais de rádio emitidos pelos satélites atinjam os receptores de GPS. Com base nas distâncias calculadas a quatro satélites é possível calcular a posição do receptor GPS, através da contabilização do tempo de percurso dos respectivos sinais de rádio (Matos, 2008; Young, 2012).

A distância do receptor a um satélite constitui o diâmetro de uma esfera, cujo centro está localizado no próprio satélite. A intercepção de duas esferas, tem como resultado uma circunferência de pontos, onde a localização do receptor é provável. Quando se adiciona a intercepção da terceira esfera, o resultado são apenas dois pontos dentro da circunferência referida. Habitualmente, um dos dois pontos localiza-se a milhares de quilómetros do planeta, pelo que, a posição do receptor se encontra sem dificuldade. No entanto, o recurso ao quarto satélite, restringe o número de pontos, obtendo-se um único (Coelho & Ribeiro, 2007). Cada satélite transmite dois sinais únicos, que possibilitam aos receptores identificar rapidamente a origem dos sinais recebidos.

Verifica-se assim que este sistema é composto essencialmente por três segmentos: o segmento espacial, o de controlo e o do utilizador (Ashby, 2003).

Os desenvolvimentos tecnológicos aliados à necessidade de uma maior precisão, conduziu no final da década de 80, ao desenvolvimento do GPS Diferencial (McCoy, 2005 cit. por Young, 2012). Trata-se de uma tecnologia GPS de posicionamento absoluto devido à utilização de dois receptores. Um deles localiza-se numa estação fixa que funciona como uma estação de referência e o outro num receptor móvel (Matos, 2008; Young, 2012).

A estação fixa está localizada numa posição cujas coordenadas são conhecidas, onde recebe e processa os sinais emitidos pelos satélites visíveis. Deste modo calcula a posição do receptor móvel em função dos erros que detecta. Através da combinação dos sinais que recebe a partir dos satélites, compara a posição obtida para o receptor móvel com a sua própria posição de referência e transmite-lhe as diferenças em latitude, longitude e altitude (Matos, 2008).

No entanto, estas correcções só são transmitidas ao receptor móvel, caso se trate de um processamento em tempo real. Caso contrário são armazenadas para uma correcção em pós-processamento (Matos, 2008; Young, 2012).

No presente estudo o posicionamento foi realizado em tempo real (RTK – *Real Time Kinematic*), dada a necessidade de se realizarem deslocamentos sobre percursos previamente estabelecidos, onde é conveniente o conhecimento da localização em tempo real.

Como referência utilizou-se uma estação ReNEP (Rede Nacional de Estações Permanentes), que é constituída por equipamentos GPS/GNSS de observação contínua. Este serviço de geo-posicionamento é prestado pela DGT (Direcção-Geral do Território) e disponibiliza o cálculo e correcção de coordenadas geográficas aos utilizadores de equipamentos GPS, com uma precisão acima dos 10 centímetros.

Como receptor móvel utilizou-se o receptor GNSS Trimble R6, que comunica com a estação ReNEP via GSM (Sistema Global para Comunicações Móveis) através de um telemóvel. O sistema de gestão da rede verifica qual a estação ReNEP mais próxima do receptor móvel, sendo essa a transmitir-lhe as correcções diferenciais.

4.1.2.3| Características do equipamento

O receptor GPS Trimble R6, utilizado para realizar o levantamento topográfico, é constituído por uma bateria e rádio internos, um bastão, uma antena e um controlador.

Considerando condições perfeitas de utilização, a sua precisão ao realizar um posicionamento em tempo real é de 8 milímetros na horizontal e 15 milímetros na vertical (Trimble, 2001). No entanto, a distância do receptor à estação de referência também afecta a precisão do levantamento. Esta é expressa em PPM (*Part per Million*) e tem um valor de 0,5 em ambas as direcções (Trimble, 2001). Significa que, por cada quilómetro que o receptor móvel se afaste da estação base, é adicionado a cada medição, tanto vertical como horizontal, 0,5 milímetros de erro (Young, 2012). A estação ReNEP mais próxima da área de estudo é a estação de Cascais, que se localiza aproximadamente a 6 quilómetros. Deste modo, a precisão do equipamento na realização do levantamento é de aproximadamente 11 mm na horizontal e 18 mm na vertical.

Outra característica que torna vantajosa a utilização deste equipamento, para além da sua precisão e da sua capacidade de efectuar um posicionamento em tempo real, é a possibilidade de realizar levantamentos em movimento, devido à opção *On-the-fly*, e de forma contínua, em intervalos pré-determinados, através do modo *Continuous Topo* (Trimble, 2001).

4.1.2.4| Planeamento do levantamento

O planeamento do processo de aquisição de dados foi o primeiro aspecto a ser tido em conta antes de se dar início ao levantamento topográfico em campo.

Iniciou-se com a escolha da área de levantamento. Esta compreende o sistema dunar, a ribeira do Guincho, uma porção do areal correspondente à zona de praia e prolonga-se até à estrada nacional 247 que se lhe encontra adjacente. A ligação do sistema dunar com os seus limites e áreas adjacentes é importante para o enquadramento da área de estudo. A obtenção de informação altimétrica sobre a sua envolvente garante melhores resultados no modelo digital do terreno final, que consegue ser mais fiel à realidade.

Existiam duas opções para a elaboração do levantamento topográfico: ou era efectuado um levantamento muito preciso num número reduzido de pontos previamente estabelecidos, ou era efectuado um levantamento menos preciso, mas através do qual era possível a recolha de um número de pontos bastante elevado.

A recolha de um número elevado de pontos com bastante precisão não era viável no âmbito do presente estudo, devido ao tempo necessário para realizar este tipo de levantamento.

Optou-se então pela recolha de um elevado número de pontos. Apesar das perdas de precisão que este método implica, o elevado número de pontos recolhidos conduz a uma aproximação bastante fiável da superfície do sistema dunar, ao contrário do que aconteceria caso fossem recolhidos pontos muito precisos, mas bastante distanciados uns dos outros, onde grande parte das morfologias dunares se iriam perder.

Outro aspecto considerado na escolha do tipo de levantamento, relaciona-se com a precisão do levantamento obtido através da tecnologia LiDAR, com o qual o actual modelo será comparado. Como a sua resolução é de 1

metro, este método de levantamento torna-se mais apropriado para se realizarem comparações.

Deste modo a recolha de pontos cotados foi realizada com o DGPS em movimento, através do percurso da área de estudo com a antena do equipamento adaptada a um bastão transportado dentro de uma mochila, numa abertura adaptada à sua largura.

O planeamento do levantamento teve início com a definição de uma rede de percursos, que são percorridos com o DGPS, à medida que este vai recolhendo pontos e as suas respectivas coordenadas planimétricas e altimétricas.

Dada a dimensão da área de estudo escolheu-se registar pontos a cada 1,5 metros, ao longo de percursos com um espaçamento de 5 metros entre si.

O primeiro passo foi o desenho da rota a percorrer. Utilizando o software ArcMap, foi definida a área para se efectuar o levantamento, e posteriormente, o modo como essa área seria percorrida, visando o registo de uma malha de pontos eficiente na criação do modelo da superfície.

Os percursos foram desenhados com uma orientação perpendicular à acumulação gerada pelas primeiras fiadas de paliçadas, de modo a captar com melhor exactidão a morfologia por elas originada.

Finalmente, foi criada uma shapefile com os percursos pretendidos (Figura 14), que posteriormente foi exportada para o equipamento DGPS. O planeamento do levantamento topográfico pode também ser observado com mais detalhe no Anexo iv.



Figura 14. Planeamento do levantamento topográfico segundo percursos com um espaçamento de 5 metros entre si

4.1.2.5| Procedimentos e características do levantamento

Antes de se iniciar o levantamento, procedeu-se à ligação e montagem do equipamento.

Colocou-se a bateria na antena, e seguidamente, esta foi posicionada no topo do bastão. Este foi colocado dentro de uma mochila, numa abertura à sua medida, de modo a permanecer o mais imóvel possível. O telemóvel utilizado para estabelecer a ligação à estação de referência foi ligado e conectado com o equipamento, assim como o receptor, tendo-se dado início ao software “*Survey Controller*”. Foi aberto o ficheiro correspondente à shapefile com os percursos criados e iniciada uma ligação à estação ReNEP. Escolheu-se um modo *Continuous topo*, de forma a levantar pontos continuamente, e foi escolhido proceder ao seu registo de 1,5 metros em 1,5 metros.

A mochila com o bastão e a antena foi colocada às costas e a altura a que esta se encontrava do solo foi medida com uma fita métrica, de modo a poder ser registada no receptor. Registou-se assim uma altura de 2 metros, desde o solo até ao topo da antena. Esta foi ligada, e com o mapa dos percursos no visor do receptor, foi iniciado o levantamento.

O bastão foi transportado o mais próximo possível da vertical, na tentativa de manter uma altura constante da antena em relação ao solo, enquanto se percorreu o espaço, acompanhando as variações topográficas do terreno.

Dado o funcionamento em tempo real que este equipamento permite, foi possível saber a posição actual, já com as devidas correcções diferenciais calculadas. O levantamento teve em atenção um aspecto particular, que pode influenciar negativamente a qualidade dos resultados. Tentou-se não inclinar o corpo enquanto se percorria o terreno, pois esta inclinação origina desvios da antena em relação à vertical e afecta a precisão das posições obtidas (Huang *et al.*, 2002 cit. por Baptista *et al.*, 2008), mantendo-se assim uma altura da antena relativamente ao solo mais próxima da medida obtida na posição estática, enquanto se percorria o espaço e se acompanhavam as diversas variações da morfologia dunar. Apesar da precisão do equipamento ser de 11 mm na horizontal e 18 mm na vertical, é aqui assumido que a precisão das medições obtidas é significativamente menor. O efeito da passada e o desvio do bastão em relação à verticalidade são factores que, apesar de não quantificados, introduzem um erro nas medições. No entanto, como o objectivo é comparar o MDT obtido com um MDT com uma célula de 1 m² proveniente do LiDAR, e assumindo-se que os erros são aleatórios, pois as passadas tanto induzem incrementos positivos, como incrementos negativos nas medições, e que a inclinação do bastão não se efectua sempre no mesmo sentido, julga-se que os pontos obtidos têm a qualidade suficiente para os objectivos deste trabalho.

O espaçamento escolhido, de 5 metros, entre cada percurso, teve o objectivo de delinear as principais morfologias da duna, como elevações e depressões importantes. No entanto, e de forma a melhorar a representação da superfície existente, sempre que se encontraram relevos ou depressões importantes entre os 5 metros de cada percurso, efectuaram-se deslocamentos de modo a registar essas áreas, tendo-se retomado novamente o percurso após o seu registo. Os percursos planeados, apenas funcionaram como guias, de modo a

garantir que toda a área fosse percorrida de forma homogénea, contribuindo para um resultado final coerente.

4.1.2.6| Processamento de dados

Durante o levantamento todos os dados recolhidos foram armazenados na memória interna do equipamento utilizado, e posteriormente transferidos para o computador. Através da utilização de software da Trimble os dados foram convertidos e guardados sob a forma de coordenadas (x,y,z) num ficheiro excel que mais tarde foi importado pelo ArcMap, o software de Sistemas de Informação Geográfica, onde os dados foram processados. A partir da tabela com as coordenadas dos pontos efectuou-se uma shapefile no sistema de referência ETRS_1989_Portugal_TM06, que corresponde aos dados recolhidos durante o levantamento.

Num levantamento com as características do aqui realizado, por vezes os pontos podem ser mal recolhidos devido aos erros inerentes ao próprio processo. A perda de ligação à base, com a consequente diminuição de precisão, apesar de raro, é um dos erros mais frequentes que ocorrem. Necessitam por isso de ser detectados e eliminados para não induzirem em erro e originarem resultados que não se encontram de acordo com a realidade. Estes pontos detectam-se com facilidade pois surgem como “outliers”. Outros pontos que devem ser retirados prendem-se com os pontos recolhidos demasiado próximos um do outro. Tal ocorre, geralmente, quando os percursos de levantamento se cruzam. Deste modo escolheu-se uma distância mínima de 0,5 metros entre pontos, eliminando os que se encontravam a uma distância menor.

Após a limpeza dos dados obteve-se uma shapefile de pontos que serviu de base ao desenvolvimento do modelo digital da superfície actual do sistema dunar.

4.1.2.7| Base teórica sobre a elaboração de Modelos Digitais do Terreno

Um modelo digital do terreno é designado por Matos – (2008, p. 165) como “*qualquer conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permita associar a qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico um valor correspondente à sua altitude*”. Deste modo, para elaborar um modelo digital do terreno a partir dos pontos cotados obtidos através do levantamento topográfico, é necessário recorrer a um método de interpolação. A partir dos pontos recolhidos são calculados os valores desconhecidos e que se pretendem integrar no modelo. O modo como este cálculo é realizado varia segundo o método de interpolação, sendo que cada um utiliza uma abordagem diferente para calcular os valores que não se conhecem. A superfície obtida difere assim consoante o método de interpolação adoptado (Matos, 2008). As características utilizadas na construção do modelo digital do terreno, entre as quais se encontram a escolha do método de interpolação, devem ser compreendidas para se alcançarem resultados adequados aos fenómenos que se pretendem modelar (Matos, 2008). Este deve ter em conta o modo como os pontos recolhidos se distribuem no espaço e a natureza do fenómeno a ser analisado (Childs, 2004). Entre os principais métodos de interpolação disponíveis no software ArcMap, destacam-se: IDW (*Inverse Distance Weighted*), Spline, Kriging, Natural Neighbor, entre outros. Todos eles dão origem a superfícies distintas, que podem proporcionar melhores ou piores aproximações

à realidade, consoante o tipo de dados a utilizar e analisar (Matos, 2008).

Após da criação da shapefile correspondente aos pontos levantados, criou-se um polígono que funciona como máscara (área que contém e delimita todas as operações que serão realizadas).

Tendo em conta a natureza da área de estudo, escolheu-se o *Spline* como método de interpolação. Este é conhecido por produzir superfícies flexíveis com variações suaves, que passam exactamente nos pontos recolhidos através do levantamento, ao contrário de outros métodos (Childs, 2004). Utiliza uma função matemática que minimiza a curvatura total da superfície, sendo considerado como o melhor método para representar superfícies que apresentem variações suaves (Childs, 2004). Concede um nível de detalhe suficiente para a representação de importantes aspectos do sistema dunar, sem a necessidade de se definirem linhas de rotura manualmente (Mitasova *et al.*, 2005). No entanto, outra das suas características é o facto de conseguir estimar valores que ultrapassam os valores máximos e mínimos registados. Por vezes origina ondulações que se devem à forma como os polinómios se ajustam, e não aos dados dos pontos recolhidos, o que tanto pode corresponder à realidade, como induzir em erro (Matos, 2008).

A partir deste modelo foram também produzidas curvas de nível com um intervalo de 1 metro através da ferramenta *Contour* presente no software ArcMap.

4.2| SUBTRACÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DO TERRENO

A subtracção da superfície actual pela superfície de referência permite representar e quantificar as alterações ocorridas no sistema dunar durante este intervalo de tempo.

Através das diferenças de elevação identificam-se as principais áreas de acumulação de sedimentos por transporte eólico e também as áreas de deflação de sedimentos. O volume de tais acumulações permite-nos conhecer a quantidade de sedimentos que entrou no sistema durante o intervalo de tempo analisado, indispensável ao cálculo da taxa de acumulação eólica anual.

Como as superfícies se encontram em formato matricial, ambas são representadas por matrizes, sendo possível efectuar a subtracção de uma pela outra. Para o efeito recorreu-se à ferramenta *Raster Calculator* do software ArcMap.

As diferenças positivas irão corresponder a acumulação de sedimentos e as negativas a deflação. Os valores correspondentes a zero ou próximos dizem respeito às áreas cujos volumes permaneceram praticamente inalterados ao longo dos anos.

4.2.1| Delimitação das áreas de entrada de sedimentos

Através das diferenças de elevação entre as duas superfícies é possível identificar as principais áreas de acumulação de sedimentos por transporte eólico. A sua delimitação e o cálculo do volume de sedimentos aí acumulado ao longo do período estudado, permite determinar a quantidade de sedimentos que entrou no sistema.

Deste modo delimitaram-se as duas zonas do sistema dunar onde se verifica a entrada de sedimentos por transporte eólico.

A primeira encontra-se localizada na frente de praia, onde são notáveis as maiores acumulações, e a segunda a Norte, junto a um dos extremos da área de estudo. Ambas constituem a interface entre o sistema dunar e a praia, de onde provêm os sedimentos segundo a resultante do transporte eólico que ocorre de NNW.

As acumulações verificadas na restante área de estudo dizem respeito, essencialmente, a sedimentos que já se encontravam acumulados numa destas duas áreas delimitadas, e que por acção do vento foram transportados para o interior, onde se acumularam. São por isso de pouca importância para a determinação do volume de sedimentos que entra no sistema.

É assim calculado o volume acumulado nessas áreas durante o período de tempo estudado, através da ferramenta *Cut fill* do software ArcMap. Como se trata de informação em formato matricial é possível calcular o volume acumulado ou removido de uma superfície para a outra, assim como a área correspondente a essa variação de volume. Este é calculado para toda a área de estudo, de modo a ter uma noção da variação total de volume no intervalo de tempo estudado, e em específico para as áreas de entrada de sedimentos. É através deste volume que se tem conhecimento do volume de sedimentos que entra no sistema por ano e é posteriormente calculada a taxa de acumulação eólica anual.

4.3| ELABORAÇÃO DA SUPERFÍCIE TEÓRICA

Sendo um dos principais objectivos da presente dissertação determinar o tempo que demorará para a acumulação sedimentar que ocorre no sistema dunar da praia do Guincho interagir negativamente com a Estrada Nacional 247, houve a necessidade de se idealizar uma superfície teórica com base na tendência evolutiva do sistema, que represente uma topografia virtual, correspondente à que se verificará no futuro, após a acumulação eólica preencher todo o espaço actualmente sem dunas.

A superfície é desenvolvida enquanto superfície aplanada e idealizada segundo os seguintes pressupostos:

1. Tem início na crista de precipitação do actual cordão dunar frontal existente;
2. Desenvolve-se até às imediações da Estrada Nacional 247, encontrando-se delimitada por um desnível em relação a esta infraestrutura viária, de modo a que a cota mais alta da superfície nunca a ultrapasse;
3. Lateralmente é delimitada segundo a direcção da resultante do transporte eólico, determinada segundo Rebêlo, 2004 como N161°E.

O desnível em relação à Estrada Nacional 247 foi testado com dois valores distintos, originando por isso duas superfícies diferentes, cada uma com uma cota máxima.

A subtracção destas superfícies idealizadas pela superfície representativa do actual sistema dunar indica o volume de acomodação, necessário para preencher a depressão morfológica actualmente existente.

Sabendo o volume de sedimentos que entra por ano no sistema dunar (através da subtracção da superfície actual pela superfície de referência), e o volume necessário acumular para atingir a superfície idealizada (através da subtracção da superfície teórica pela superfície do actual sistema), é possível estimar o tempo que irá demorar para a acumulação sedimentar que ocorre no sistema dunar da praia do Guincho interagir com a E.N. 247, caso as condições inerentes a este processo se mantenham idênticas ao período de tempo analisado.

4.3.1| Limites

Crista de precipitação

Um dos limites da superfície teórica é a crista de precipitação da área de entrada de sedimentos no sistema dunar, onde se verifica a maior acumulação sedimentar da área de estudo.

Sem a reintrodução de paliçadas a tendência natural do sistema é cessar a acumulação de sedimentos em altura. Os novos sedimentos que entram no sistema deslocam os sedimentos previamente acumulados para o interior, mantendo a cota máxima actualmente existente. Foi possível a sua delimitação através de curvas de nível e perfis realizados sobre o modelo digital do terreno.

Desnível em relação à Estrada Nacional 247

De modo a garantir que a cota máxima da superfície teórica nunca ultrapasse a cota da E.N. 247, decidiu-se efectuar a sua delimitação através de um desnível em relação a esta infra-estrutura, que como referido anteriormente foi testado com dois valores distintos, originando também duas superfícies diferentes. A primeira é realizada com um desnível de 0,50 metros e a segunda com um desnível de 1 metro.

Esta infra-estrutura não apresenta uma cota constante em toda a sua extensão, variando dos 20,1 aos 23,7 metros. Por isso este limite também não apresentará uma cota constante, apresentando sempre um desnível de 0,50 e 1 metros, respectivamente, ao longo de toda a sua extensão.

Direcção da resultante do transporte eólico

Por fim, os dois limites laterais da superfície, que unem o limite representado pela crista de precipitação da área de maior acumulação e o limite correspondente ao desnível em relação à E.N. 247 foram delimitados segundo a direcção da resultante do transporte eólico. Esta assume uma orientação de N161°E (Rebêlo, 2004) e é com esta direcção preferencial que o transporte de sedimentos é efectuado desde a zona de praia até ao sistema dunar, assumindo assim extrema importância na sua dinâmica.

4.3.2| Produção de superfícies

De modo a produzir uma superfície aplanada que origine uma união entre os diferentes limites, foi utilizada a ferramenta *Create TIN*, existente no software ArcMap.

Na sua elaboração foram utilizados os pontos cotados correspondentes ao limite da crista de acumulação e ao limite do desnível em relação à E.N. 247, pois representam respectivamente, as menores e maiores altitudes que a superfície irá adquirir.

Os pontos cotados são assim interligados através de uma triangulação, dando origem a uma superfície de faces triangulares planas designada por rede irregular triangulada (TIN – Triangulated irregular network).

Por si só constitui um modelo digital do terreno, assim como uma base para a construção de outros tipos de modelos, como os modelos em formato matricial que têm vindo a ser utilizados no presente estudo (Matos, 2008). Por esse motivo, efectuou-se posteriormente uma conversão *TIN to Raster*, de modo a obter a superfície produzida em formato matricial, compatível com os modelos anteriormente elaborados.

No interior da delimitação efectuada existem acumulações de sedimentos que ultrapassam a cota tida como máxima para o desenvolvimento do sistema, devido a acumulações já existentes. Nestes locais não irá ocorrer nova acumulação e por isso a superfície idealizada não os poderá conter.

Com o intuito de eliminar estas áreas recorreu-se à ferramenta *Cut fill* onde se utilizou a superfície teórica produzida e o modelo digital do terreno elaborado inicialmente, correspondente ao actual sistema dunar.

As áreas cujos volumes excedem a cota definida como máxima são eliminadas da superfície, resultando apenas as áreas possíveis de existir acumulação sedimentar, tendo em conta os pressupostos assinalados.

O volume necessário ao preenchimento da depressão morfológica existente entre o cordão dunar frontal e a estrada nacional 247 pode agora ser calculado, (através da subtracção entre a superfície produzida e a superfície correspondente ao actual sistema), assim como o tempo que esta demorará a ser preenchida (através da utilização da taxa de acumulação eólica anual), considerando que as condições inerentes ao processo de acumulação de sedimentos se mantêm idênticas ao intervalo de tempo analisado (Figura 15).

Tanto a superfície que apresenta um desnível de 0,50 metros em relação à E.N. 247 como a que apresenta um desnível de 1 metro, foram produzidas através da mesma metodologia, sendo este limite a única alteração.

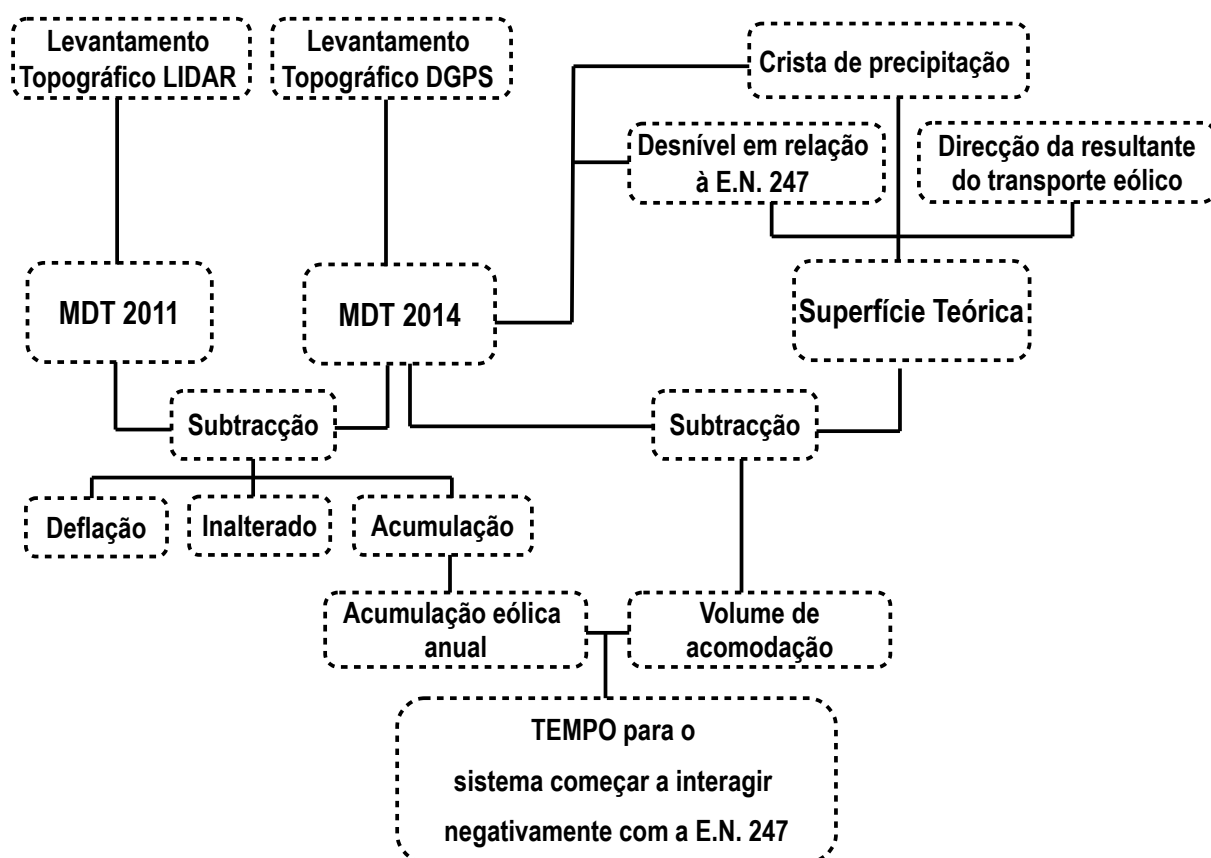


Figura 15. Representação esquemática da metodologia utilizada

CAPÍTULO 5|

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1| SUPERFÍCIES REPRESENTATIVAS DO SISTEMA DUNAR

Para verificar as variações morfológicas que ocorreram no troço sul do sistema dunar da praia do Guincho nos últimos anos recorreu-se, como referido anteriormente, à produção de um MDT correspondente à actual situação do sistema, possível de ser comparado com uma situação de referência. De seguida são demonstrados os MDT's correspondentes a ambas as situações, assim como os dados que tornaram possível a sua elaboração.

5.1.1| Superfície de referência

5.1.1.1| Modelo digital do terreno – 2011

Como referido no capítulo 4, o MDT correspondente à situação de referência data de 2011 e foi elaborado com base num levantamento topográfico de uma faixa do litoral que se estende 400 metros em terra. No Anexo i pode-se observar um troço deste MDT, correspondente à área de estudo e à sua envolvente. A partir deste modelo, e utilizando a máscara referida no capítulo anterior, foi possível a obtenção do MDT correspondente à área de estudo no ano de 2011, assim como a sua organização em classes de hipsometria consideradas adequadas à observação da morfologia desta paisagem dunar (Figura 16), que pode ser observado com mais detalhe no Anexo iii, assim como a sua altimetria, no Anexo ii.

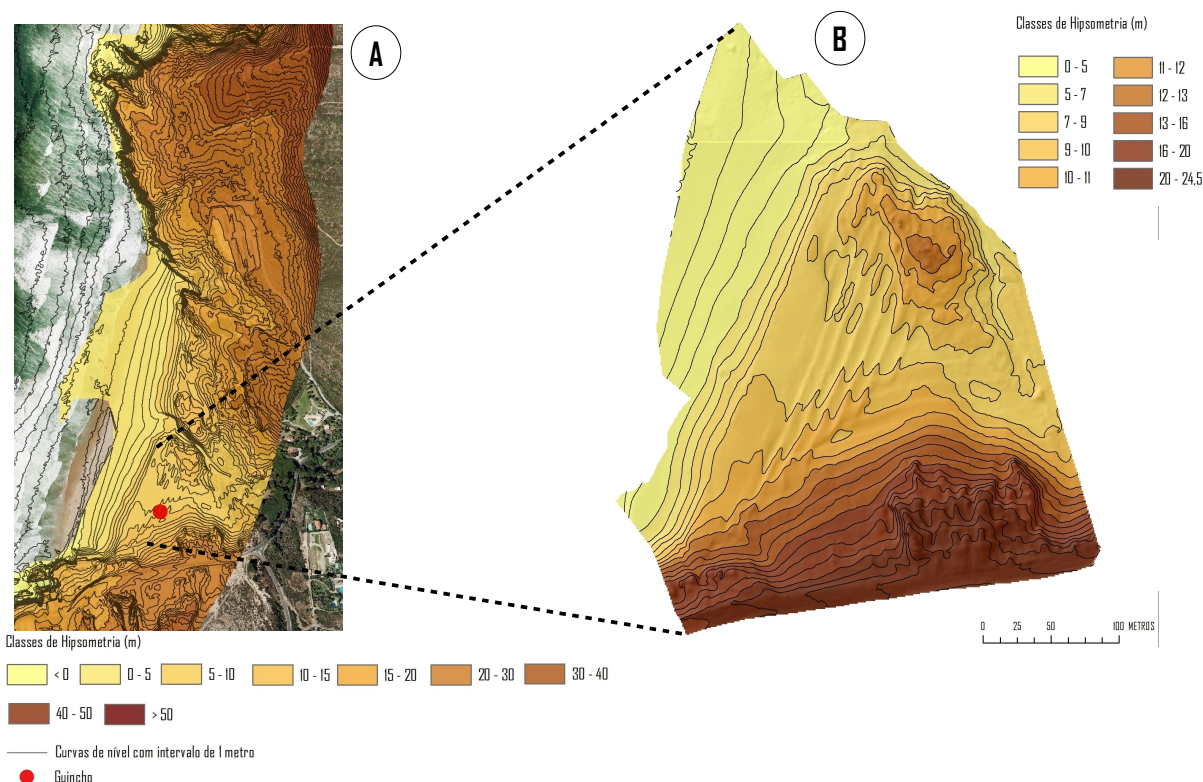


Figura 16. MDT de 2011, organizado em classes de hipsometria e acompanhado por curvas de nível com intervalo de 1 metro. A – MDT da área de estudo e envolvente; B – MDT da área de estudo

5.1.2| Superfície actual

5.1.2.1| Pontos recolhidos através do levantamento topográfico com DGPS

O levantamento de toda a área de estudo foi realizado em 6 dias distintos, entre 17 de Abril de 2014 e 30 de Maio de 2014, durante um total de aproximadamente 15 horas.

No início do levantamento, por inexperience com a utilização do equipamento, o processo mostrou-se mais demorado. No entanto, à medida que o levantamento decorreu, foi-se ganhando mais experiência, assim como uma maior sensibilidade no registo de dados, o que permitiu também uma maior rapidez na realização do levantamento, quando comparado com o momento inicial.

Após a limpeza dos dados obteve-se uma shapefile de pontos que serviu de base ao desenvolvimento do modelo digital da superfície actual do sistema dunar, com um total de 14 326 pontos (Figura 17), que pode ser observada mais pormenorizadamente nos Anexos v e vi.

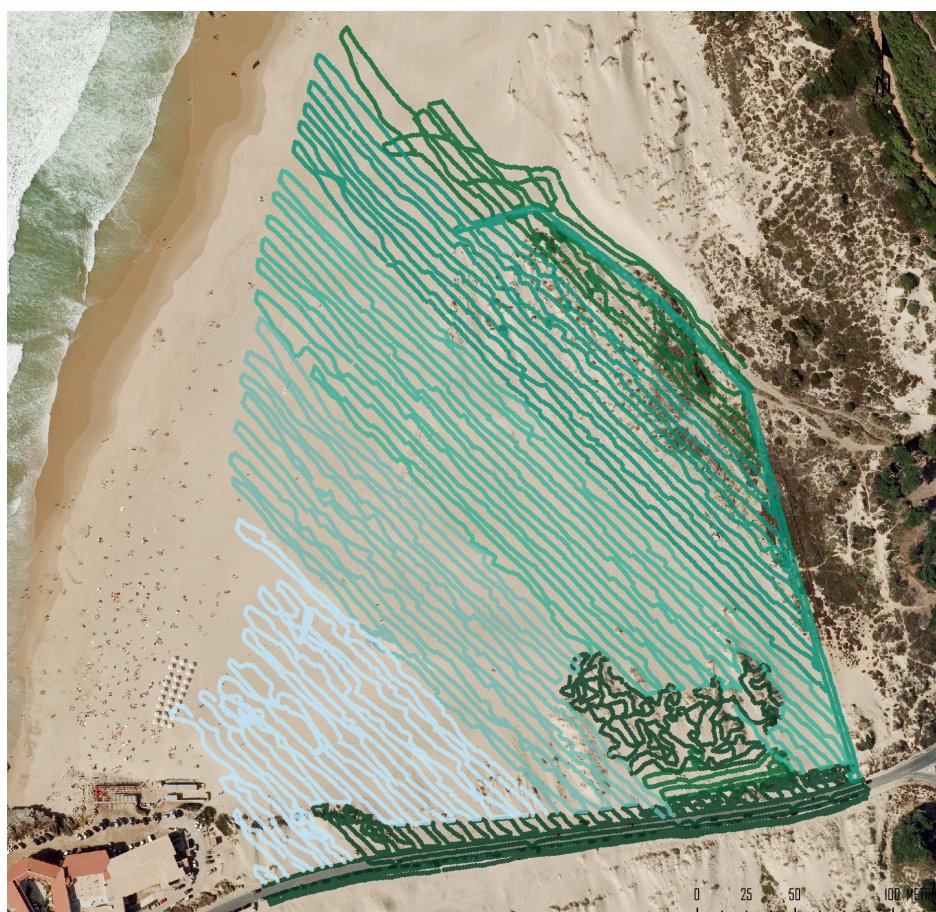


Figura 17. Levantamento de 14 326 pontos, através de GPS Diferencial, efectuado durante 6 dias representados por diferentes cores (entre 17 de Abril de 2014 e 30 de Maio de 2014)

5.1.2.2| Modelo digital do terreno - 2014

O modelo digital do terreno da superfície dunar existente quando o trabalho foi realizado, foi produzido a partir da interpolação dos 14326 pontos cotados, recolhidos durante o levantamento topográfico efectuado com DGPS.

Após a sua criação através do software ArcMap, a sua visualização foi organizada segundo classes de hipsometria, que organizam o terreno em intervalos de altitude com o intuito de produzir uma fácil legibilidade do relevo da área em estudo (Figura 18). Foram definidas 10 classes, em metros: 0 - 5; 5 - 7; 7 - 9; 9 - 10; 10 - 11; 11 - 12; 12 - 13; 13 - 16; 16 - 20; 20 - 24,5. Esta morfologia pode ser observada mais detalhadamente no Anexo vii, através da sua representação altimétrica, assim como no Anexo viii através da sua representação segundo as classes de hipsometria referidas.

As altitudes correspondentes ao intervalo entre os 9 e os 13 metros foram definidas em intervalos menores, uma vez que estes valores correspondem às altitudes das principais acumulações de sedimentos por transporte eólico. Interessa por isso obter um maior detalhe que caracterize especificamente este intervalo. O último intervalo estende-se até aos 24,5 metros, pois este valor corresponde à maior altitude da área de estudo. As classes aqui definidas são idênticas às classes aplicadas ao MDT proveniente do LiDAR referido no ponto anterior, de forma a facilitar a comparação visual de ambas as superfícies.

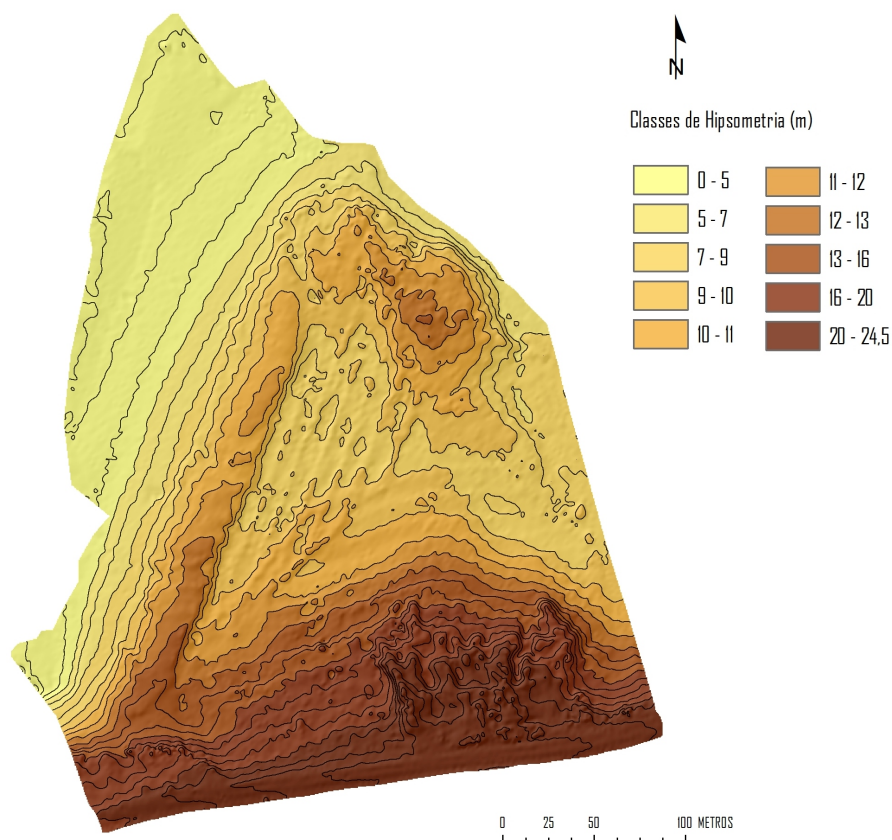


Figura 18. Modelo digital do terreno correspondente ao actual sistema dunar do Guincho, organizado segundo classes de hipsometria e acompanhado por curvas de nível com intervalo de 1 metro

5.2| COMPARAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DO TERRENO DE 2011 E 2014

5.2.1| Representação das alterações ocorridas no sistema dunar

A produção de um modelo digital do terreno correspondente ao actual (2014) sistema dunar da praia do Guincho permite a realização de comparações com o modelo digital do terreno correspondente ao ano de 2011. A diferença é tão significativa, que mesmo visualmente é possível verificar as alterações que ocorreram ao longo deste intervalo de tempo no que diz respeito à morfologia do sistema (Figura 19). Como anteriormente foi referido, este modifica-se conforme a ocorrência de acumulação ou deflação de sedimentos, e através desta análise é possível verificar a relação destes processos com a anterior colocação de paliçadas.

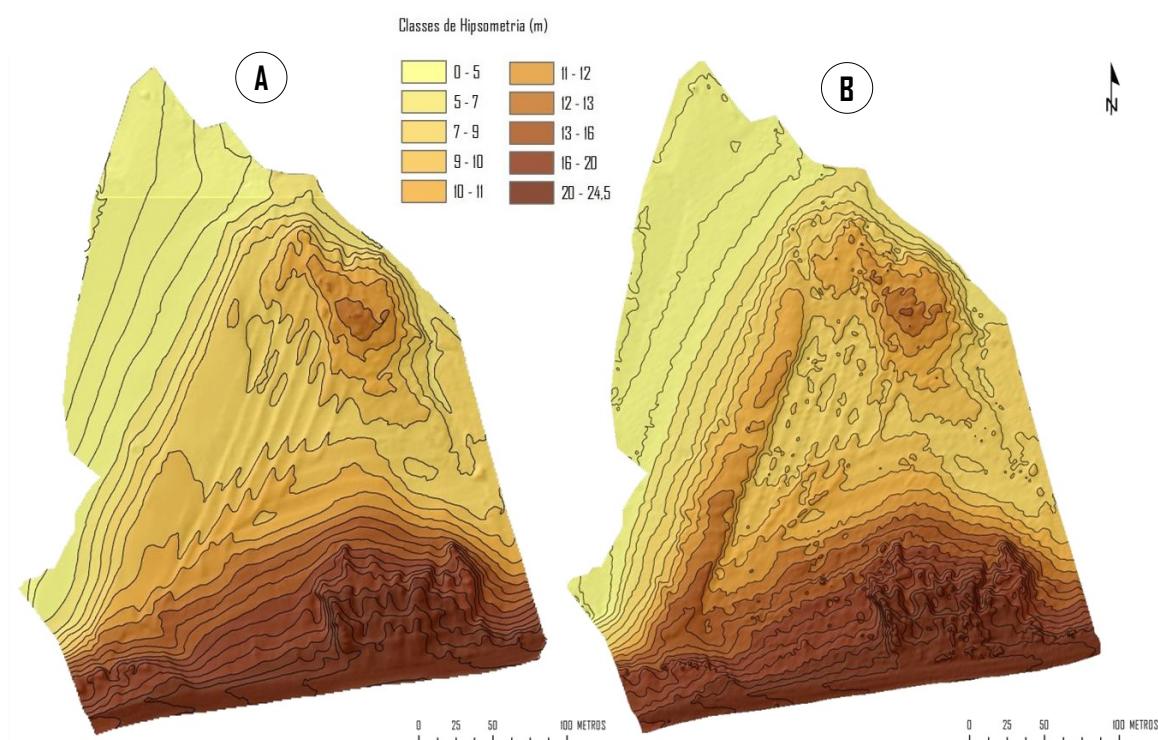


Figura 19. Modelo digital do terreno correspondente ao ano de 2011 (A) e ao ano de 2014 (B), organizados segundo classes de hipsometria e acompanhados por curvas de nível com intervalo de 1 metro

No intervalo de tempo analisado (entre Dezembro de 2011 e Maio de 2014) observam-se algumas modificações no relevo do sistema dunar, principalmente na interface junto à frente de praia. Verifica-se a formação de um cordão dunar frontal que estabelece uma ligação com uma acumulação já existente a Norte da área de estudo, originando por trás uma depressão morfológica onde não se observam grandes alterações.

Este cordão dunar frontal recém-formado desenvolve-se segundo a orientação SSO – NNE e adquire altitudes que vão dos 10 aos 15 metros. Formou-se a partir da acumulação de sedimentos que se deslocaram por transporte eólico, segundo uma resultante de N161°E.

Na figura 20 encontram-se definidas cinco linhas correspondentes a cinco perfis desenhados sobre o sistema dunar (Figuras 21 a 25), onde é possível observar a superfície no ano de 2011 e 2014 e verificar as principais

alterações ocorridas neste intervalo de tempo. A tracejado estão representadas as inflexões na linha de perfil.

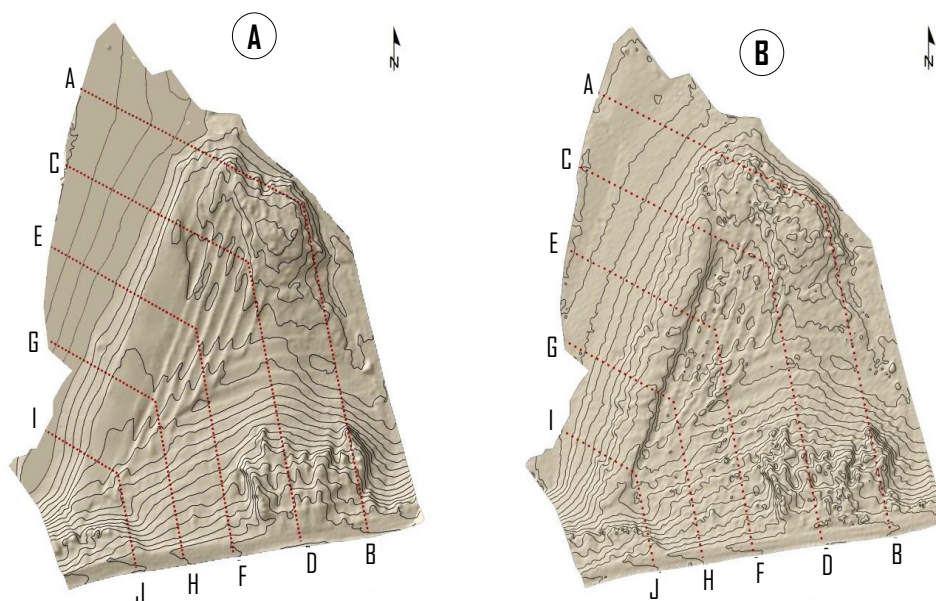


Figura 20. Delimitação de cinco perfis (A-B; C-D; E-F; G-H; I-J) representativos da evolução do sistema dunar entre 2011 (A) e 2014 (B)

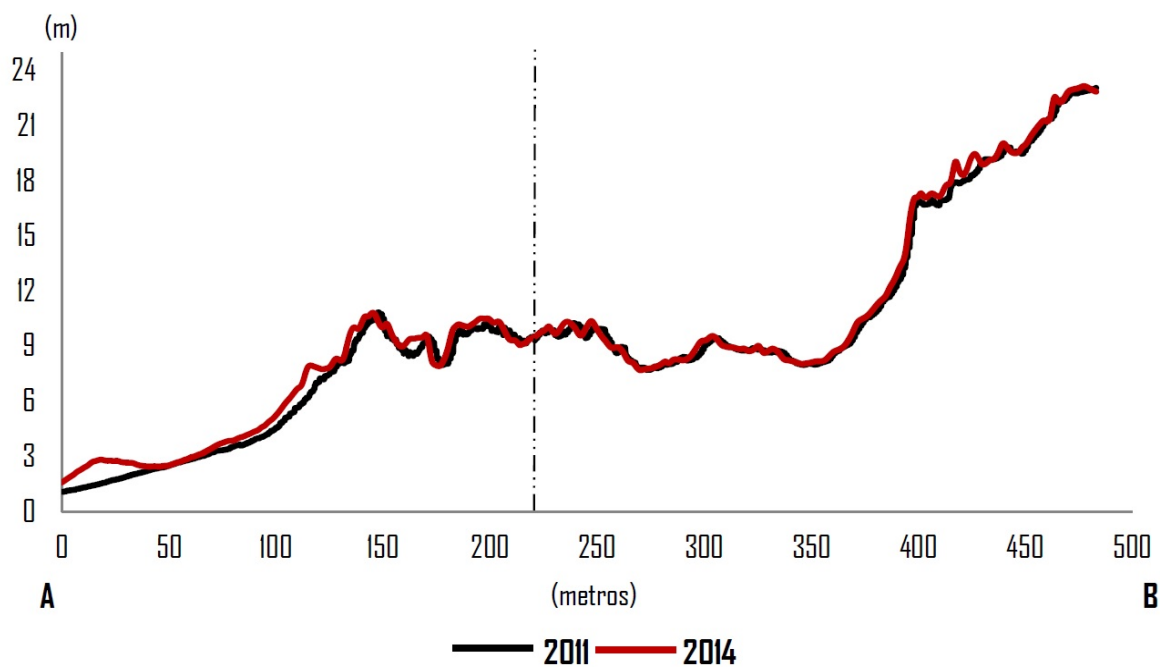


Figura 21. Perfil A-B

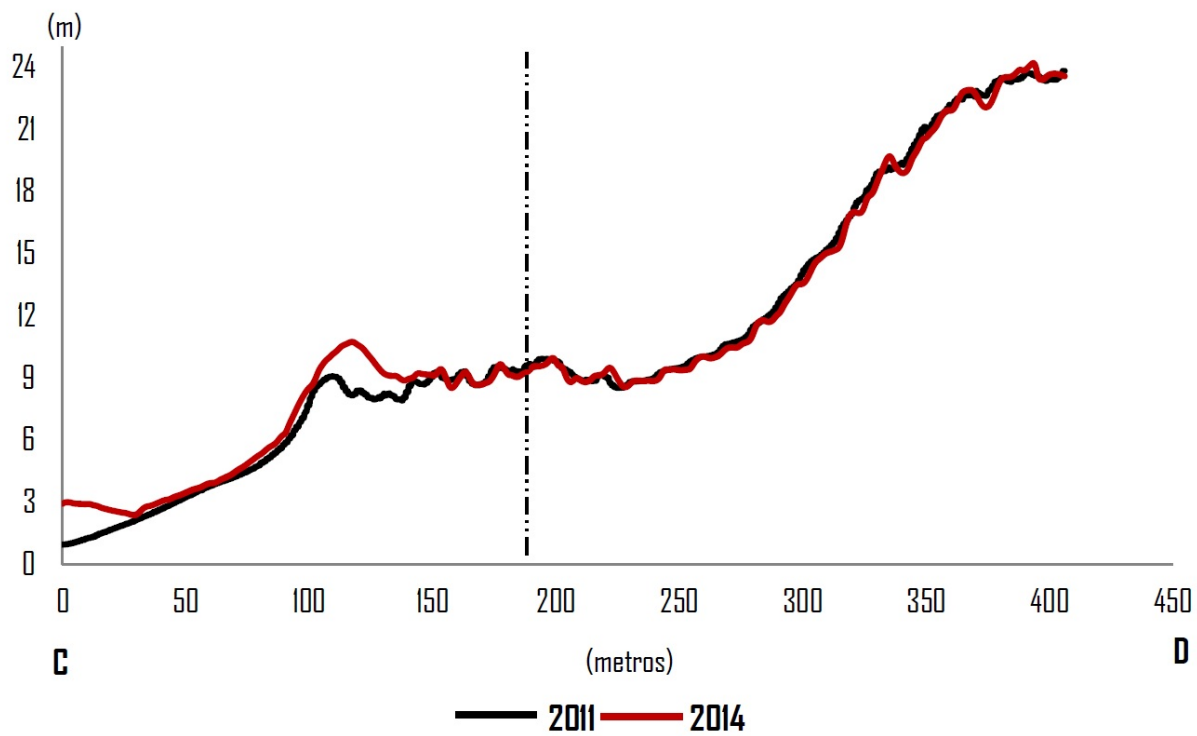


Figura 22. Perfil C-D

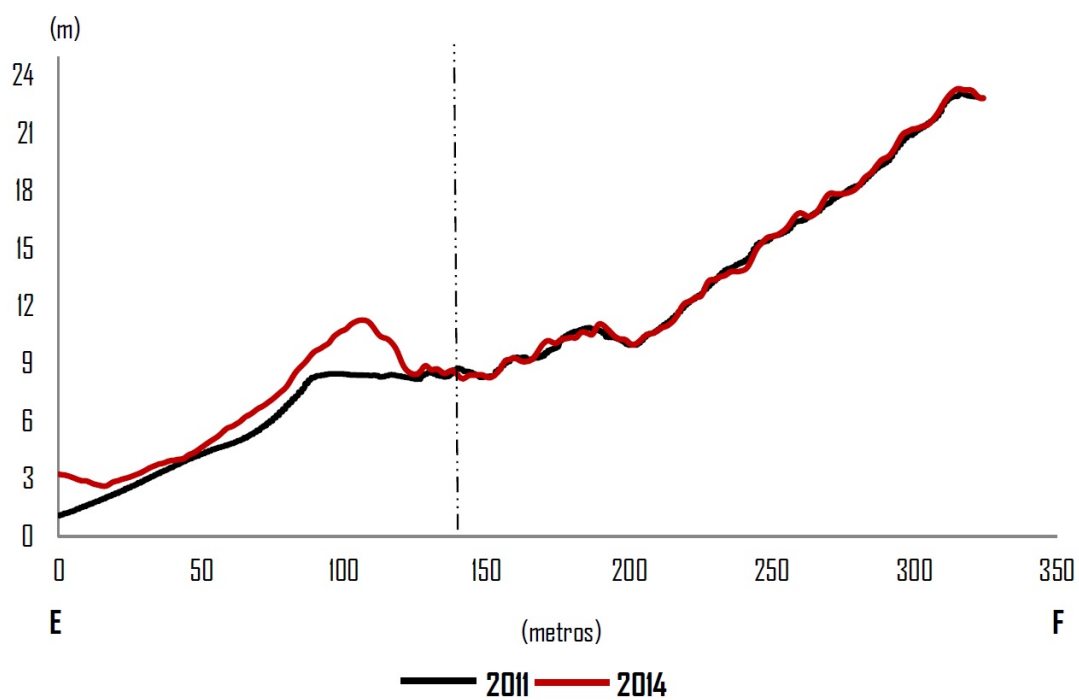


Figura 23. Perfil E-F

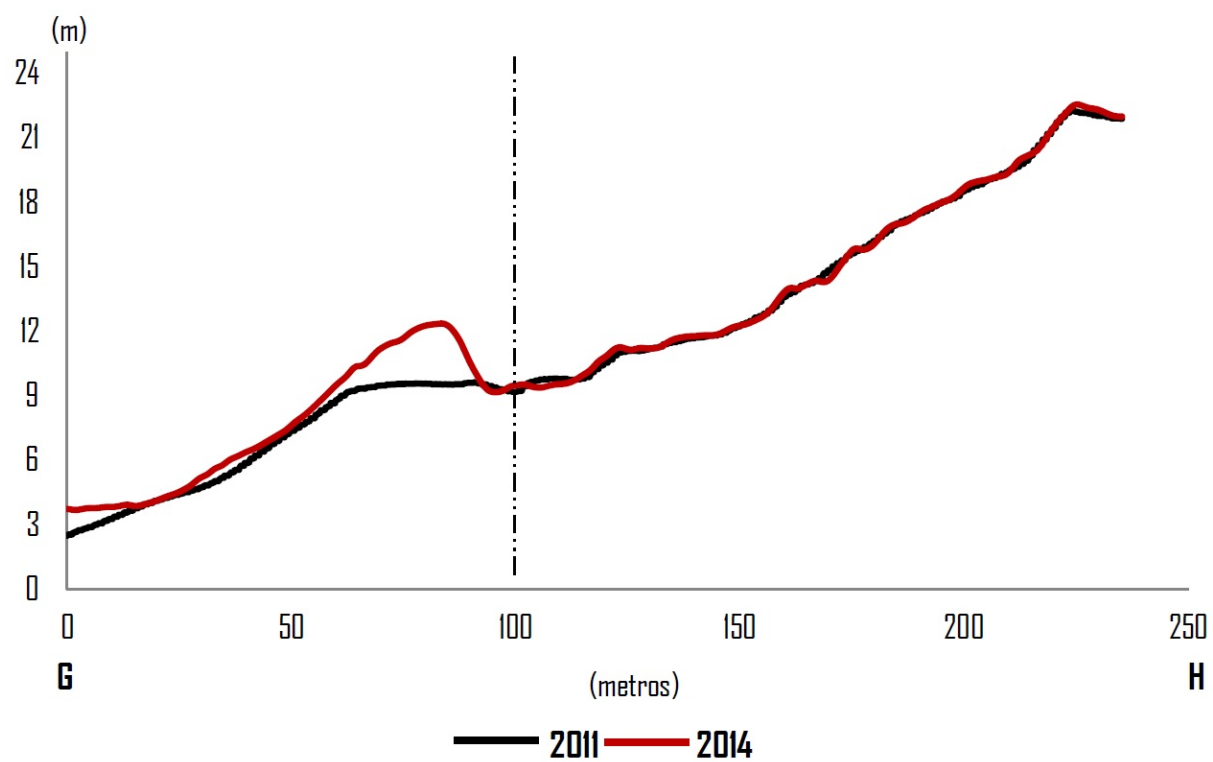


Figura 24. Perfil G-H

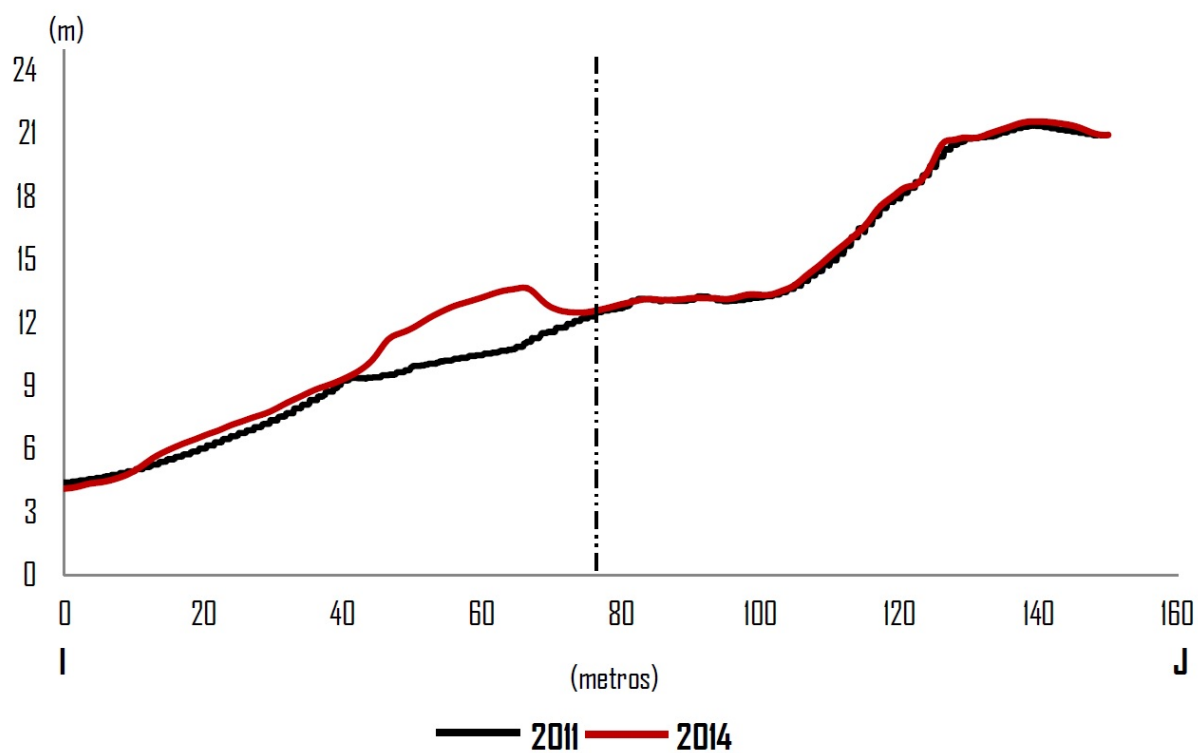


Figura 25. Perfil I-J

5.3| SUBTRACÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DO TERRENO DE 2011 E 2014

5.3.1| Quantificação das alterações ocorridas no sistema dunar

A subtracção da superfície dunar correspondente ao ano de 2014 pela superfície correspondente ao ano de 2011 permitiu representar e quantificar as alterações ocorridas no sistema dunar durante este intervalo de tempo, no que diz respeito à acumulação e deflação de sedimentos. Através das diferenças de elevação identificaram-se as principais áreas de acumulação de sedimentos por transporte eólico. O volume de tais acumulações permite-nos conhecer a quantidade de sedimentos que entrou no sistema durante o intervalo de tempo analisado, indispensável ao cálculo da taxa de acumulação eólica anual.

Como as superfícies se encontram em formato matricial, ambas são representadas por matrizes, sendo possível efectuar a subtracção de uma pela outra. Para o efeito recorreu-se à ferramenta *Raster Calculator*. A legibilidade dos resultados obtidos depende das classes escolhidas para se representarem as alterações.

Foram escolhidas 14 classes para representar a superfície resultante, de modo a definir as diferenças de elevação entre as duas superfícies, que variam entre os -3,2 e os 3,3 metros.

As diferenças positivas correspondem a acumulação de sedimentos e as negativas a deflação. Os valores correspondentes a zero ou próximos, as classes “-0,1 – 0” e “0 - -0,1”, representam as áreas cujos volumes permaneceram praticamente inalterados ao longo do período analisado.

Através do mapa de diferenças de elevação (Figura 26) observa-se que tem ocorrido acumulação de sedimentos na maior parte da área de estudo, em oposição à deflação, que apenas se verifica em áreas pontuais. As áreas que permanecem praticamente inalteradas também apresentam uma elevada expressão. Esta representação

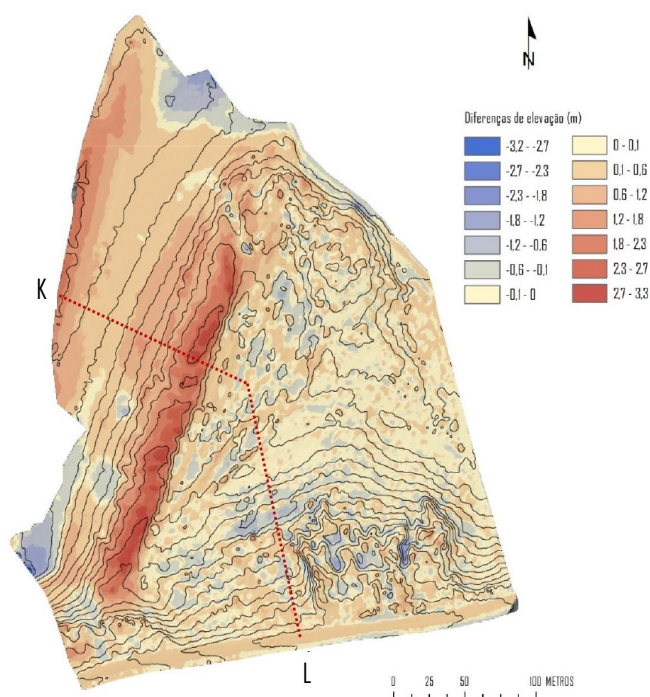


Figura 26. Representação das diferenças de elevação, em metros, que ocorreram no sistema dunar entre o ano 2011 e o ano 2014, acompanhadas por curvas de nível representativas do terreno, com intervalo de 1 metro. A tracejado está representada a localização do perfil K-L

pode ser observada mais detalhadamente através do Anexo ix.

As maiores acumulações, como referido anteriormente, dizem respeito ao cordão dunar frontal recém-formado, onde se verificam valores da ordem dos 3,3 metros de altura. Ao longo da área em estudo verificam-se também pequenas zonas onde ocorreu deflação, sendo as mais expressivas, mas também raras, na ordem dos 3,2 metros.

A figura 27 mostra a acumulação, representada pelos valores positivos, e a deflação, representada pelos valores negativos, ao longo de um perfil que atravessa toda a área de estudo. A primeira acumulação corresponde à variação ocorrida na zona de praia activa; a segunda corresponde à areia acumulada na duna frontal, e posteriormente, observam-se apenas pequenas variações positivas e negativas relacionadas com pequenas acumulações intercaladas com pequenas deflações ao longo da restante área de estudo.

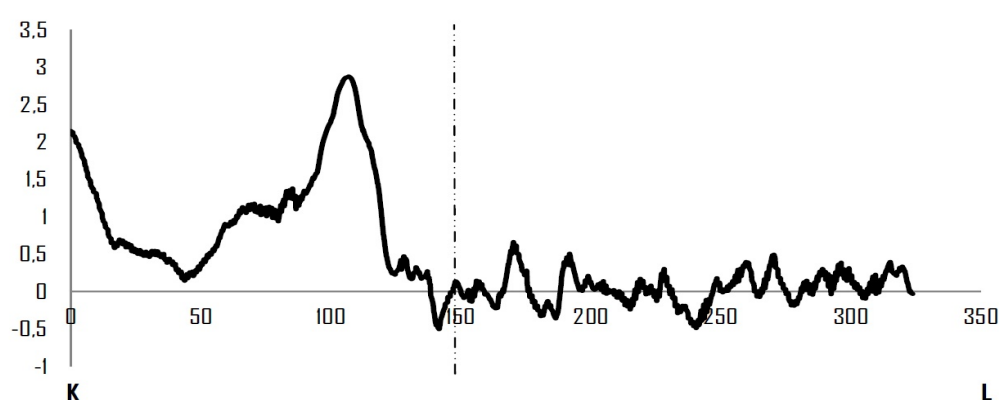


Figura 27. Perfil K-L representativo das diferenças de elevação, em metros, que ocorreram no sistema dunar entre o ano 2011 e o ano 2014. Os valores positivos representam a acumulação e os negativos a deflação

Na tabela 1 pode-se observar que ao longo dos 30 meses analisados se verificou uma acumulação de 37 642 m³ distribuída por uma área de 55 021 m², assim como uma deflação de 6 085 m³ que ocorreu em 9 284 m². Através de um balanço sedimentar entre a quantidade de sedimentos acumulada e deflacionada, concluiu-se que ocorreu uma acumulação de sedimentos avaliada em 31 557 m³.

Neste período de tempo verificou-se também que 33 555 m² se mantiveram praticamente inalterados, com variações de altitude na ordem dos 20 centímetros.

Tabela 1. Quantificação do volume de acumulação e deflação, em conjunto com as respectivas áreas, assim como a área cuja variação de volume foi praticamente inexistente e o balanço sedimentar entre a quantidade de sedimentos acumulada e deflacionada.

	ACUMULAÇÃO	DEFLAÇÃO	BALANÇO SEDIMENTAR	INALTERADO
VOLUME (m ³)	37 642	6 085	31 557	
ÁREA (m ²)	55 021	9 284		33 555

Conclui-se que existiu acumulação de sedimentos em 56% da área de estudo, deflação em 10%, e que 34% da

área total permaneceu praticamente inalterada, como se pode observar no gráfico da figura 28.

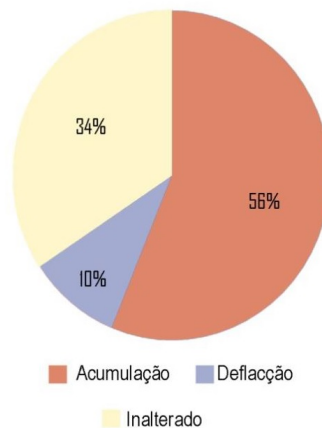


Figura 28. Percentagem da área de estudo que sofreu acumulação e deflação de sedimentos, assim como a área que praticamente permaneceu inalterada, não sofrendo alterações significativas

No entanto, estes valores de acumulação e deflação de sedimentos, para além de incluírem os sedimentos que entraram e saíram do sistema no período de tempo analisado, incluem também os sedimentos que já existiam na área de estudo e apenas se movimentaram através de transporte eólico.

Importa por isso compreender também o volume que se refere apenas à entrada de sedimentos no sistema. Assume-se que a areia entra neste sistema dunar por transporte eólico através de toda a frente de praia, paralela à linha de costa, assim como a partir de um dos extremos da área de estudo, localizado a norte, onde a acumulação de sedimentos já era notória antes da introdução de paliçadas. Deste modo, foram identificadas as duas áreas onde a acumulação diz respeito aos novos sedimentos que deram entrada no sistema, durante o período de estudo (Figura 29).

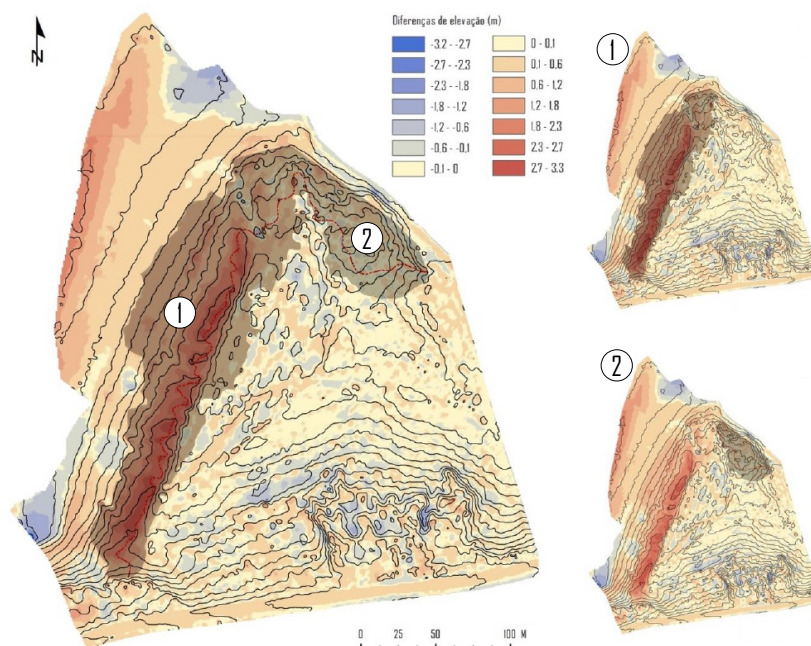


Figura 29. Delimitação das áreas de entrada de sedimentos no sistema dunar por transporte eólico (1 e 2) acompanhadas por curvas de nível com um intervalo de 1 metro e pela crista de precipitação das acumulações

Analisando as variações volumétricas para as áreas definidas, obtiveram-se os valores expressos na Tabela 2. Assim, verifica-se ter ocorrido uma entrada de novos sedimentos no sistema dunar de 21 275 m³ durante os 30 meses analisados. A área de acumulação 2 apesar de representar uma acumulação de sedimentos que chega a atingir os 15 metros de altura assim como a área de acumulação 1, registou nos últimos 30 meses um volume de acumulação muito baixo, provavelmente porque a sua frente associada à fonte sedimentar é menor. Esta acumulação foi sendo formada ao longo dos anos, com a ajuda da instalação espontânea de vegetação dunar, ao contrário da acumulação 1, que ocorreu devido à colocação de barreiras artificiais ao transporte dos sedimentos por acção do vento.

A existência da ribeira do Guincho a Norte da acumulação 2, pode também ser um dos motivos para a fraca acumulação de sedimentos neste intervalo de tempo. Os sedimentos transportados pela acção do vento podem aqui ficar retidos, sendo posteriormente erodidos e transportados pela ribeira até ao mar, em vez de se acumularem no sistema.

Tabela 2. Quantificação da acumulação total nas áreas 1 e 2, correspondente ao volume de sedimentos que entrou no sistema dunar entre 2011 e 2014 por transporte eólico

	ZONA DE ACUMULAÇÃO 1	ZONA DE ACUMULAÇÃO 2	ACUMULAÇÃO TOTAL
VOLUME (m ³)	20 625	650	21 275
ÁREA (m ²)	17 507	4284	21 791

A evolução destas áreas de acumulação pode ser observada através dos perfis representados nas figuras 31 a 37, que se encontram localizados na figura 30. As figuras 31 e 32 demonstram perfis da área de acumulação 2 e as figuras 33, 34, 35, 36 e 37 demonstram perfis da área de acumulação 1.

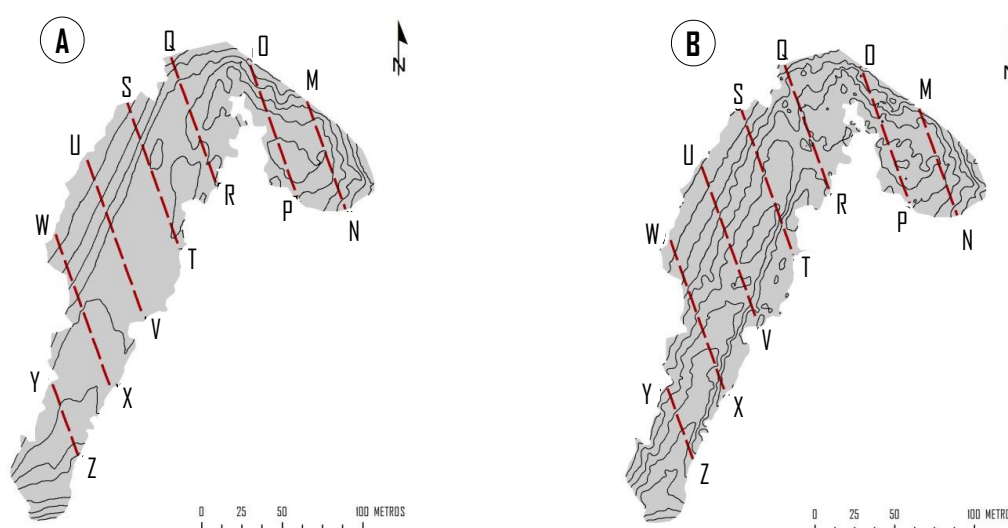


Figura 30. Localização de sete perfis representativos da evolução do sistema dunar entre 2011 (A) e 2014 (B), nas áreas de entrada de sedimentos por transporte eólico (Q-R, S-T, U-V, W-X, Y-Z correspondentes à área 1 e M-N, O-P correspondentes à área 2)

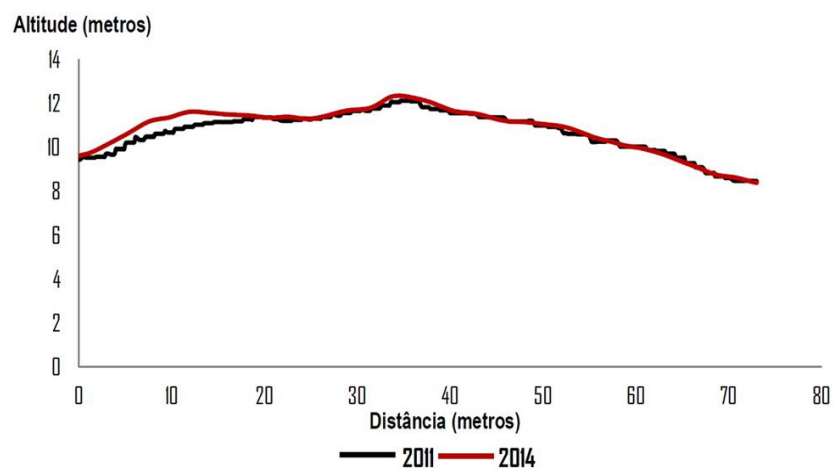


Figura 31. Perfil M-N

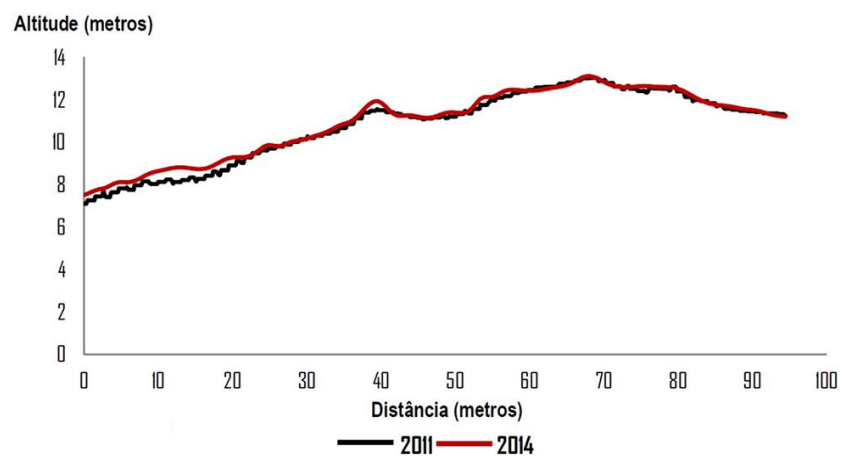


Figura 32. Perfil O-P

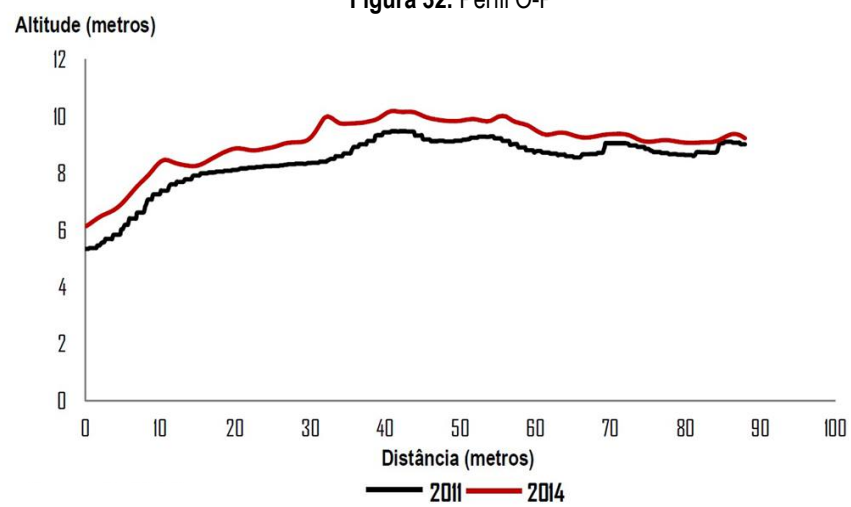


Figura 33. Perfil Q-R

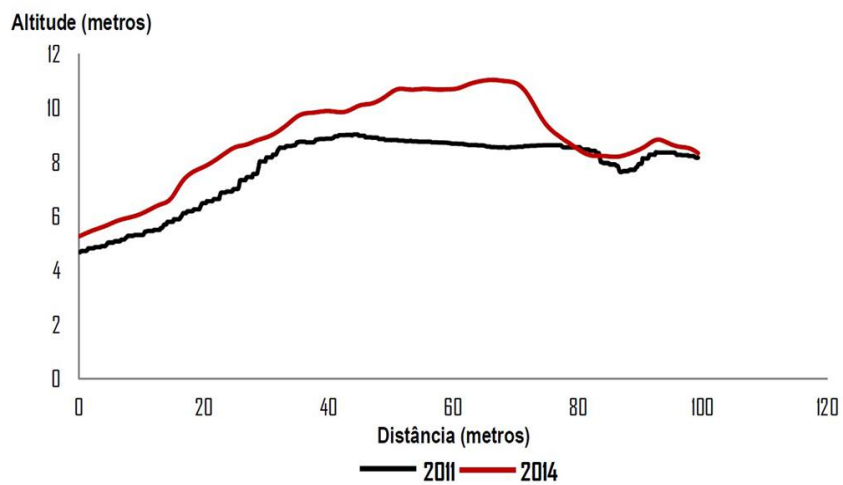


Figura 34. Perfil S-T

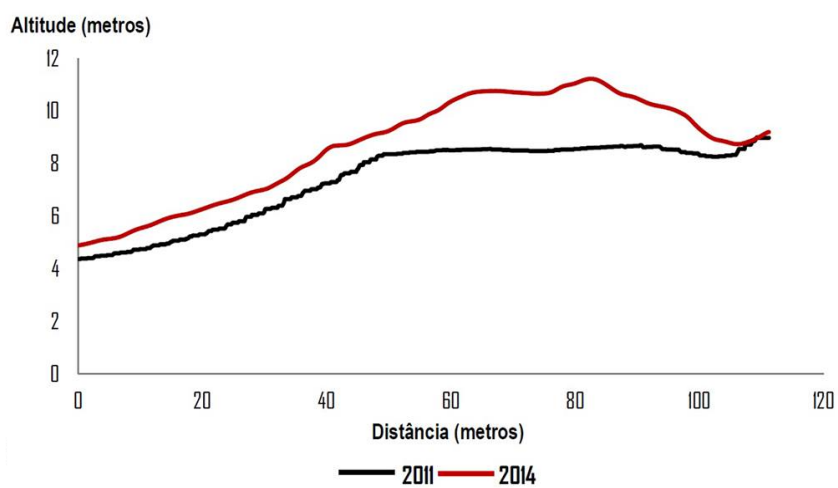


Figura 35. Perfil U-V

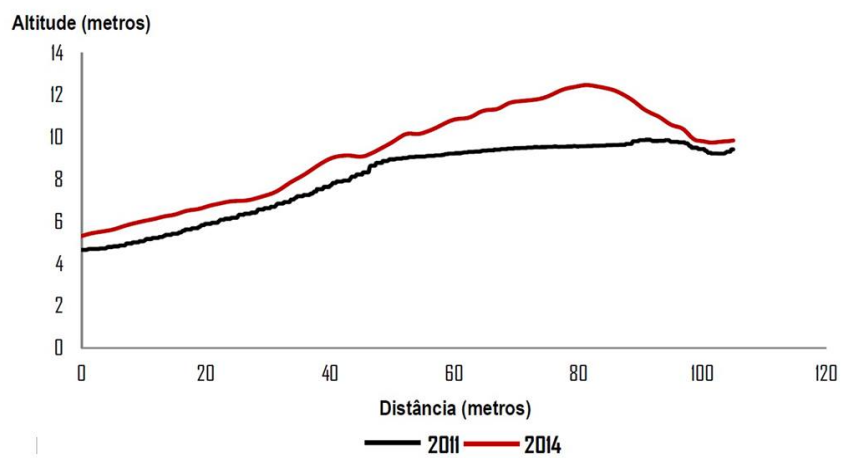


Figura 36. Perfil W-X

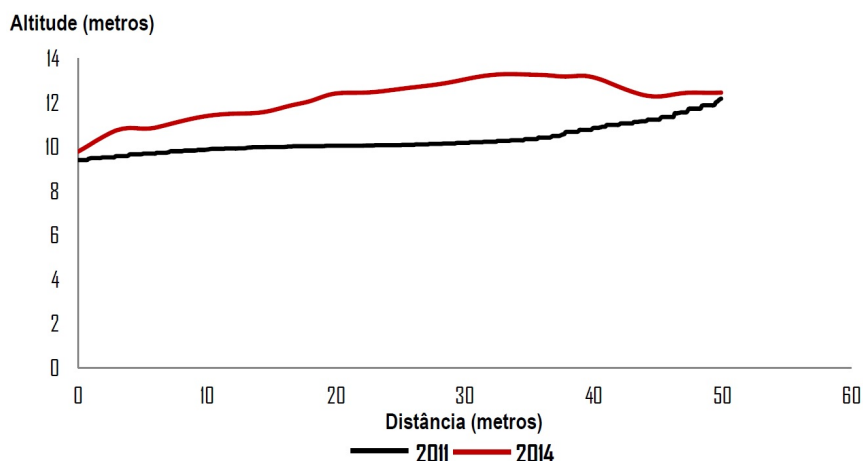


Figura 37. Perfil Y-Z

A Estrada Nacional 247 é a única estrutura fixa comum aos dois MDT's. Deste modo, o levantamento topográfico da sua altimetria permite a validação do MDT criado, relativamente ao MDT de referência. Estimou-se assim uma constante, de -0,27 metros, que representa o seu valor de desfasamento.

Tal valor, tanto pode estar relacionado com o já mencionado erro existente nas medições efectuadas com o DGPS, ou com os erros inerentes ao levantamento topográfico através de tecnologia LiDAR. Alguns estudos têm apontado para erros que vão desde os 0,26 metros aos 1,53 metros em levantamentos efectuados a grande escala (Figura 38) (Hodgson & Bresnahan, 2004).

Outra explicação pode também estar relacionada com o sistema de calibração e correcção de dados da tecnologia LiDAR utilizada (Habib *et al.*, 2011).

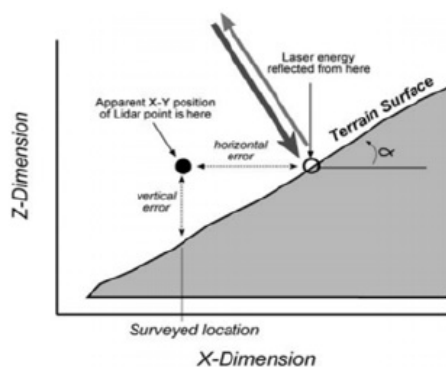


Figura 38. Erros de levantamento topográfico inerentes à tecnologia LiDAR. Fonte: Hodgson, 2004

5.3.2| Relação dos dados obtidos com a introdução de paliçadas no sistema dunar

As paliçadas foram introduzidas no sistema dunar em finais de 2010, com o Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina, executado pela Cascais Ambiente. A partir dessa data, têm sido repostas novas estruturas nas primeiras três fiadas, uma vez por ano.

No início foram introduzidas um total de 24 linhas de paliçadas, com um afastamento de 9 a 12 metros entre linhas. São constituídas por varas secas de vime (salgueiro) com uma altura de 1,80 metros, dos quais 50 centímetros são enterrados numa vala, perfazendo uma altura total de 1,30 metros (SPECO & Agência Cascais Natura 2011). No total foram instalados 500 metros lineares de paliçadas, numa área de aproximadamente 3 hectares.

Na figura 39 podem-se observar as diferenças desta paisagem costeira em 2009, numa fase anterior ao Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina, em 2010/2011 e em 2014.



Figura 39. Diferenças no sistema dunar entre 2009 e 2014. Fonte: 2009 - Street View do Google Earth, consultado em 2014; 2010/2011 - Panoramio, Google Maps por Heini Eliasson, consultado em 2014

As fiadas de paliçadas actualmente visíveis têm assim diferentes datas de colocação. As fiadas junto à praia, são mais recentes, e têm sido colocadas sobre a areia acumulada pelas paliçadas anteriores, devido à intensa acumulação que se verifica junto à praia. Já as paliçadas que se observam no interior, são as paliçadas originais, testemunhando a acumulação pouco significativa que aí se verifica.

A maior acumulação de sedimentos observada na área de estudo, correspondente ao actual cordão dunar frontal está relacionada com a existência das quatro primeiras linhas de paliçadas (Figura 40). Nesta zona, as acumulações foram principalmente na ordem dos 1,8 aos 3,3 metros, no intervalo de tempo referido.

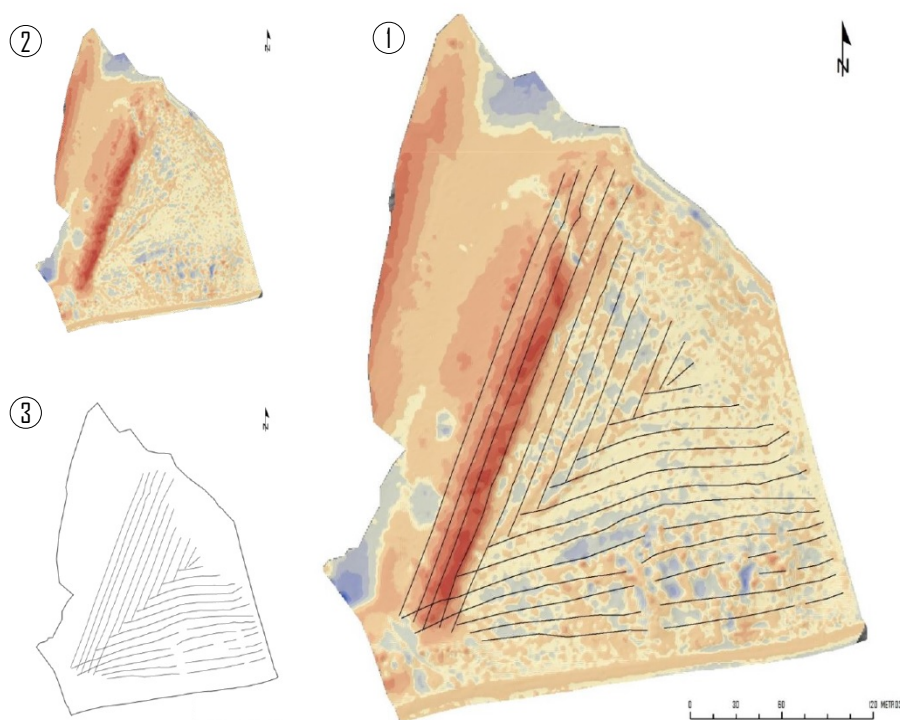
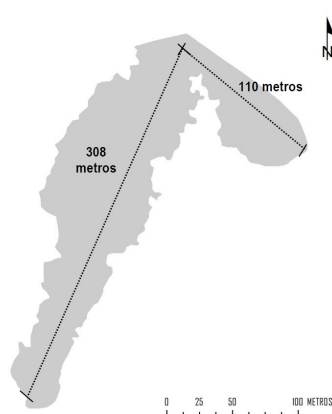


Figura 40. 1- Relação entre a acumulação de sedimentos por transporte eólico e a introdução de paliçadas no sistema dunar; 2- Representação das diferenças de elevação que ocorreram no sistema dunar entre 2011 e 2014; 3- Localização das fiadas de paliçadas introduzidas no sistema dunar

5.3.3| Cálculo da taxa de acumulação eólica anual



Através da entrada de sedimentos no sistema dunar durante os últimos 30 meses, é possível determinar a sua entrada anual, calculando a taxa de acumulação eólica anual, que representa o volume de sedimentos que o sistema recebe por ano. Neste trabalho, este valor corresponde a uma média dos valores obtidos para os 30 meses analisados no presente estudo. Com base nesse valor, e sabendo qual é o comprimento da fronteira que a duna frontal faz com a praia, foi possível inferir o volume que é acumulado por cada metro linear (Figura 41).

Figura 41. Extensão das fronteiras das áreas de entrada de sedimentos por transporte eólico

Assim, obtiveram-se: uma taxa de acumulação eólica anual total para o sistema de $8510 \text{ m}^3/\text{ano}$, e uma taxa de acumulação eólica anual por metro de secção de $20,39 \text{ m}^3/\text{m/ano}$ (Tabela 3).

Tabela 3. Taxas de acumulação eólica relativas às áreas de entrada de sedimentos por transporte eólico no sistema dunar

	ÁREA 1	ÁREA 2	TOTAL
EXTENSÃO DA FRONTEIRA (m)	308	110	418
TAXA DE ACUMULAÇÃO EÓLICA ANUAL (m ³ /ANO)	8250	260	8510
TAXA DE ACUMULAÇÃO EÓLICA POR METRO DE SECÇÃO EM 30 MESES (m ³ /m/30 MESES)	66,96	5,9	50,9
TAXA DE ACUMULAÇÃO EÓLICA ANUAL POR METRO DE SECÇÃO (m ³ /m/ANO)	26,79	2,36	20,39

Comparando com o estudo efectuado por Rebêlo em 2004, que calcula o transporte eólico na duna da Cresmina, localizada no mesmo sistema dunar, mas a Sul da presente área de estudo, verifica-se que o valor medido na construção da duna frontal do Guincho é significativamente inferior ao verificado na movimentação da duna da Cresmina, onde foi medido um valor de transporte de 62,8 m³/m/ano, sendo no entanto um valor elevado. Esta diferença pode ser explicada pelo facto de, na duna da Cresmina, existirem sedimentos suficientes para preencher toda a capacidade de transporte do vento, enquanto que na praia do Guincho, uma menor zona de *fetch*, associada às oscilações das marés, e a formação de capas sedimentares de granulometria superior, levam à diminuição temporária da disponibilidade sedimentar.

5.4| ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO SISTEMA DUNAR COM BASE NA MONITORIZAÇÃO DA CASCAIS AMBIENTE

Desde o ano 2010 que a Cascais Ambiente tem vindo a fazer uma monitorização do sistema dunar, com o intuito de compreender se a intervenção estava a cumprir os objectivos, contribuindo para a acumulação de sedimentos.

Para o efeito foram marcados 52 pontos na duna do Guincho (Figura 42), nos quais se começaram por realizar medições recorrendo a réguas, com uma periodicidade de aproximadamente duas vezes por mês. As réguas

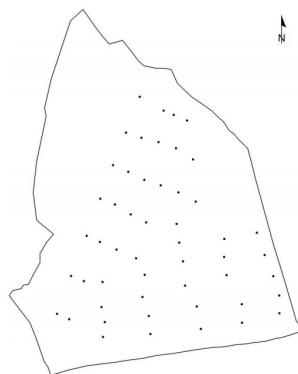


Figura 42. Localização dos 52 pontos altimétricos recolhidos na monitorização do sistema dunar pela Cascais Ambiente, que se encontram no interior da presente área de estudo

foram colocadas nos pontos previamente estabelecidos e a quantidade de areia acumulada nesses pontos era medida. No entanto, devido a problemas logísticos relacionados com as réguas, tais como o seu desaparecimento e a ocorrência de valores duvidosos que inferiam a sua retirada e posterior colocação desregrada na areia, começou por se colocar em dúvida os valores lidos e a sua utilização.

Desde modo as medições efectuadas nos anos de 2012 e 2013, já foram realizadas através de um levantamento pontual com GPS Diferencial, nos mesmos pontos inicialmente previstos, o que contribuiu para um maior rigor na obtenção dos dados. Este acompanhamento resultou na obtenção de dados altimétricos para os anos de 2010, 2012 e 2013, nos referidos pontos.

Com o intuito de analisar a evolução do sistema dunar com base na localização dos 52 pontos, dando continuidade ao processo de monitorização iniciado pela Cascais Ambiente, assim como de comparar os resultados obtidos neste estudo, utilizando a metodologia utilizada na anterior monitorização, efectuaram-se modelos digitais de terreno anuais (de 2010 a 2014) baseados na localização dos pontos altimétricos referidos, contribuindo com os dados correspondentes aos anos de 2011 e 2014 (referentes ao presente estudo).

Utilizando o mesmo método enunciado anteriormente, da subtracção de superfícies, foi possível obter as diferenças de elevação e de volume de ano para ano, e comparar com os resultados já obtidos para o intervalo de tempo entre 2011 e 2014 (Figura 43). A representação realizada com base nos 52 pontos recolhidos pode também ser observada no anexo xv.

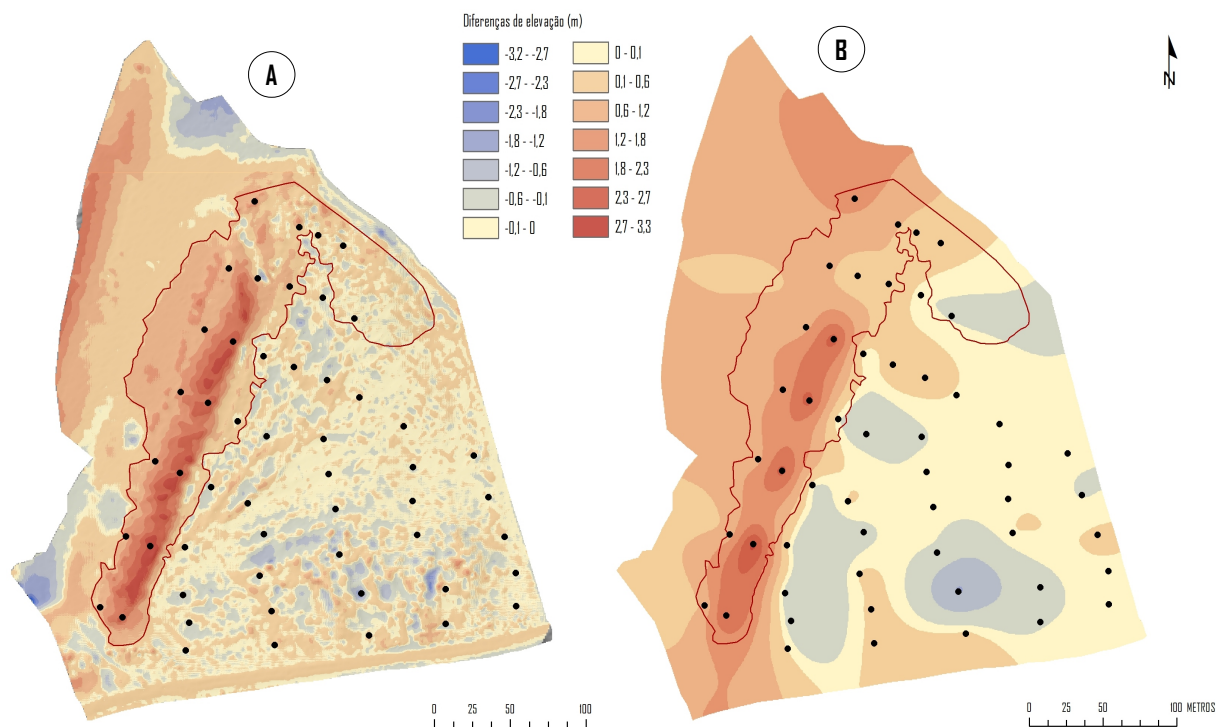


Figura 43. Diferenças de elevação entre 2011 e 2014. A - Representação realizada com base nos 14326 pontos recolhidos; B - Representação realizada com base nos 52 pontos recolhidos. Em ambos os modelos encontra-se delimitada a zona de entrada de sedimentos por transporte eólico, assim como a localização dos 52 pontos

Calculou-se, como anteriormente, a acumulação e deflação correspondentes a toda a área de estudo, e posteriormente apenas a acumulação verificada na área de entrada de sedimentos através de transporte eólico (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Comparação entre volumes e áreas pelos dois métodos de quantificação das alterações ocorridas na superfície dunar entre 2011 e 2014

	VOLUME (m ³)			ÁREA (m ²)		
	ACUMULAÇÃO	DEFLAÇÃO	BALANÇO SEDIMENTAR	ACUMULAÇÃO	DEFLAÇÃO	INALTERADA
A	37 642	6 085	31 557	55 021	9 284	33 555
B	50 362	3 510	46 852	53 571	8 029	37 656

Tabela 5. Comparação dos valores obtidos para a entrada de sedimentos por transporte eólico no sistema dunar, entre os dois métodos de quantificação das alterações ocorridas na superfície dunar entre 2011 e 2014

	ZONA DE ACUMULAÇÃO 1 (m ³)	ZONA DE ACUMULAÇÃO 2 (m ³)	ACUMULAÇÃO TOTAL (m ³)
A	20 625	650	21 275
B	21 107	529	21 636

Comparando os dois métodos verifica-se que no método B existiu uma acumulação significativamente maior (12 720 m³ a mais) em relação ao método A. Apesar dos outros valores também não serem idênticos, são semelhantes e não apresentam uma discrepância tão grande como a que se observa neste caso. Esta deve-se essencialmente às diferenças de rigor na obtenção de dados nos dois métodos. O reduzido número de pontos cotados utilizados no método B pode originar valores afastados da realidade, ainda que tenha permitido uma boa aproximação nas restantes quantificações. No caso da quantificação da entrada de sedimentos no sistema por transporte eólico, os valores foram bastante semelhantes nos dois métodos, verificando-se apenas uma diferença de 361 m³.

Variações anuais de acumulação eólica entre 2010 e 2014

Através das diferenças de elevação entre superfícies de anos consecutivos é possível observar as variações anuais referentes à acumulação de sedimentos por transporte eólico. Após a elaboração de modelos digitais do terreno anuais, baseados nas informações altimétricas encontradas nos 52 pontos foi realizada a subtração de superfícies, que representa e quantifica as diferenças de elevação ocorridas entre 2010 e 2014 (Figura 44); 2010 e 2011 e 2011 e 2012 (Figura 45); e entre 2012 e 2013 e 2013 e 2014 (Figura 46). Estas representações podem também ser observadas com um maior nível de detalhe nos anexos: xiv, xvi, xvii, xviii e xix.

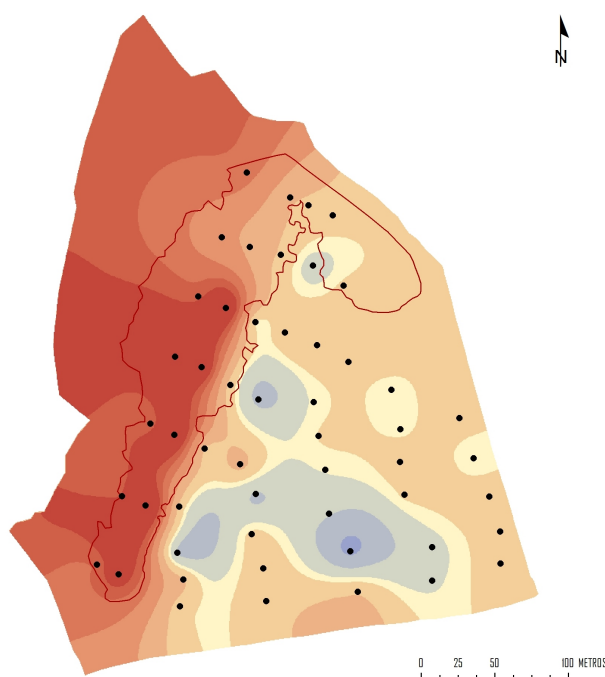


Figura 44. Diferenças de elevação entre 2010 e 2014 utilizando o método B para representar e quantificar as alterações ocorridas na superfície do sistema dunar

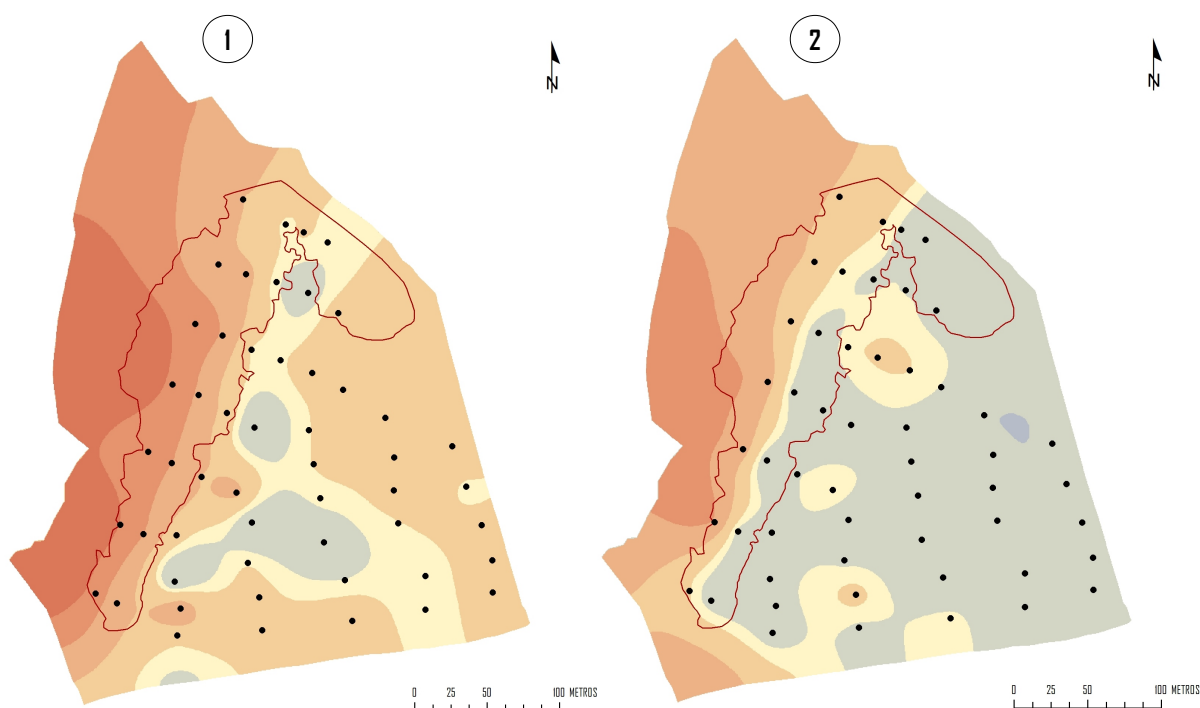


Figura 45. Diferenças de elevação utilizando o método B para representar e quantificar as alterações ocorridas na superfície do sistema dunar. 1 – Diferenças entre 2010 e 2011; 2- Diferenças entre 2011 e 2012

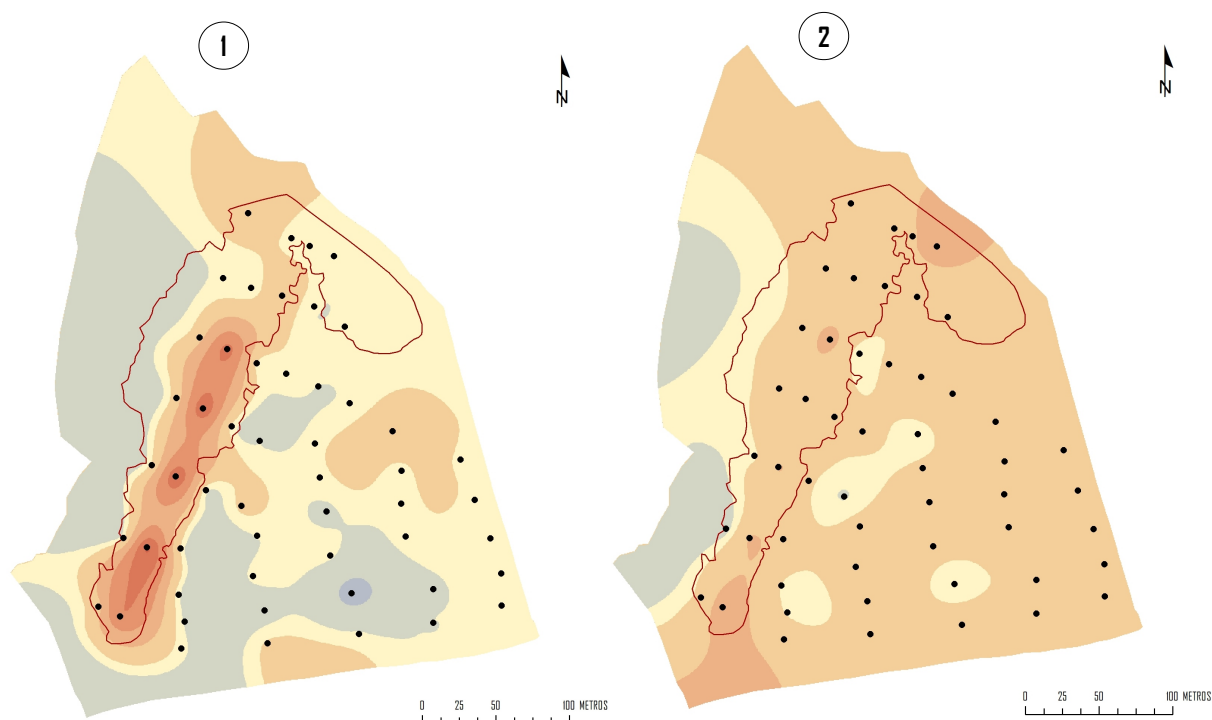


Figura 46. Diferenças de elevação utilizando o método B para representar e quantificar as alterações ocorridas na superfície do sistema dunar. 1 – Diferenças entre 2012 e 2013; 2- Diferenças entre 2013 e 2014

Constata-se que existe uma elevada variação interanual de acumulação de sedimentos por transporte eólico, possível de observar na tabela 6 e no gráfico da figura 47.

Tabela 6. Variação anual de entrada de sedimentos no sistema dunar por transporte eólico entre 2010 e 2014

	ZONA DE ACUMULAÇÃO 1 (m ³)	ZONA DE ACUMULAÇÃO 2 (m ³)	ACUMULAÇÃO TOTAL (m ³)
2010 - 2014	39 840	981	40 821
2011 - 2014	21 107	529	21 636
2010 - 2011	18 754	698	19 452
2011 - 2012	6 092	11	6 103
2012 - 2013	11 101	26	11 127
2013 - 2014	5 713	1 710	7 423

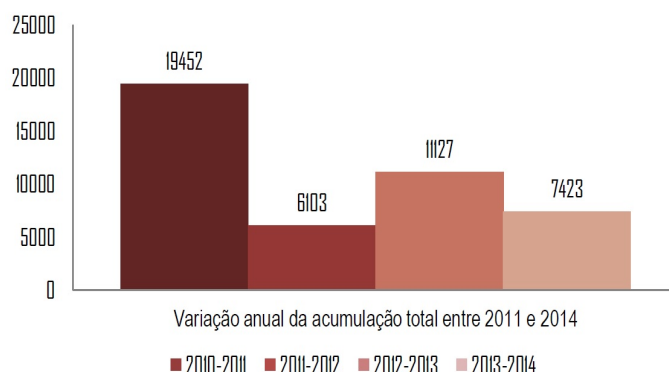


Figura 47. Representação gráfica da variação anual de entrada de sedimentos no sistema dunar por transporte eólico entre 2010 e 2014

Entre 2010 e 2011 observou-se uma entrada de $19\,452\text{ m}^3$, seguida de $6\,103\text{ m}^3$ entre 2011 e 2012. De 2012 para 2013 voltam a observar-se números maiores, com uma entrada sedimentar de $11\,127\text{ m}^3$ seguido de $7\,423\text{ m}^3$ entre 2013 e 2014.

A análise da evolução do sistema aqui efectuada, utilizando o método B, demonstra grande utilidade pois permite tirar conclusões que só a utilização de uma série temporal maior, e com intervalos de amostragem mais curtos pode proporcionar. Apesar de não ser tão preciso no cálculo da acumulação de sedimentos, mostra uma grande pertinência no sentido em que permite detectar as diferenças de acumulação de ano para ano, mostrando a variação interanual da acumulação, que não se observaria utilizando apenas dois anos de dados, por mais detalhados que se apresentassem.

5.5| SUPERFÍCIE TEÓRICA

5.5.1| Limites

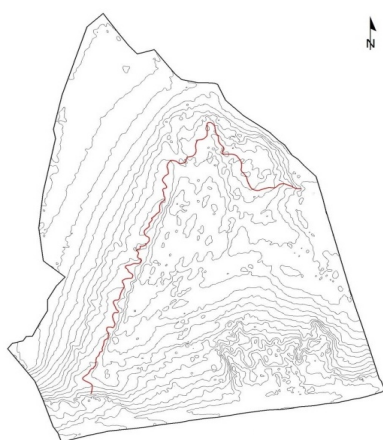


Figura 48. Limite segundo a crista de precipitação da área de entrada de sedimentos por transporte eólico

Como referido anteriormente, a superfície teórica desenvolvida é idealizada em ambiente SIG, enquanto superfície aplanada, delimitada pela crista de precipitação da área de entrada de sedimentos no sistema dunar (Figura 48); por um desnível em relação à E.N. 247, testado com dois valores distintos; e lateralmente de acordo com a direcção da resultante do transporte eólico.

Nas figuras 49 e 50 o limite representado a branco separa as áreas que se encontram abaixo da cota da E.N. 247 (a azul) e que poderão ser preenchidas até

alcançarem a cota máxima representada pela linha de desnível, das áreas que se encontram acima desta cota (a vermelho), e que por esse motivo não irão compreender a superfície teórica.

As diferenças entre os dois limites podem-se observar na figura 51.

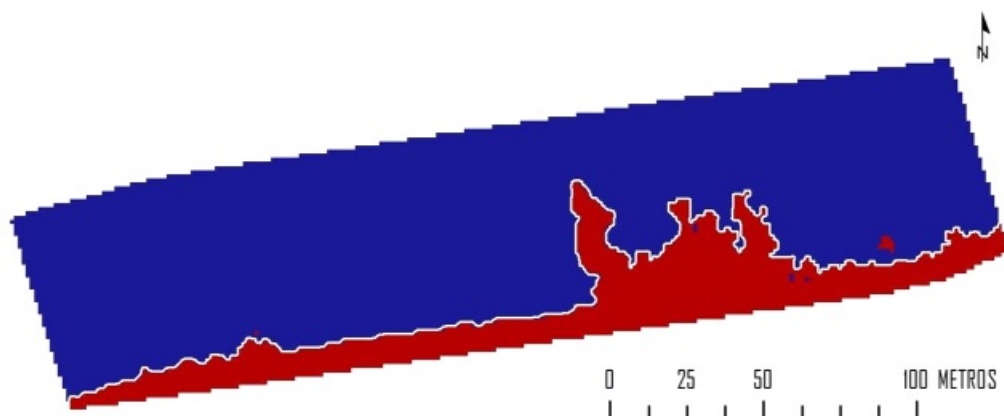


Figura 49. Linha de desnível de 0,50 metros entre a E.N. 247 e o sistema dunar

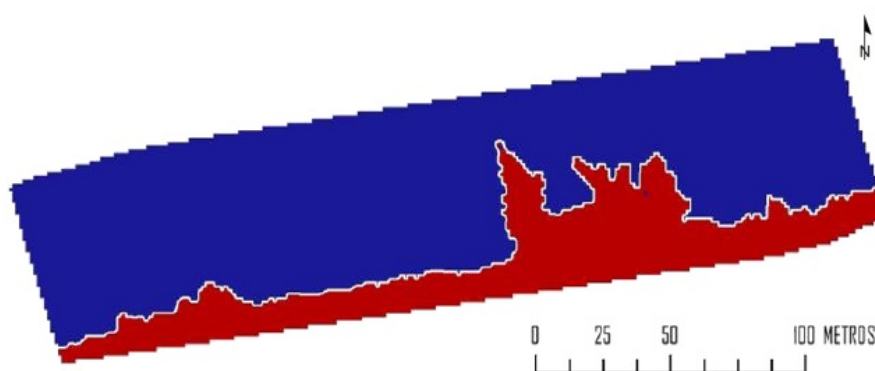


Figura 50. Linha de desnível de 1 metro entre a E.N. 247 e o sistema dunar

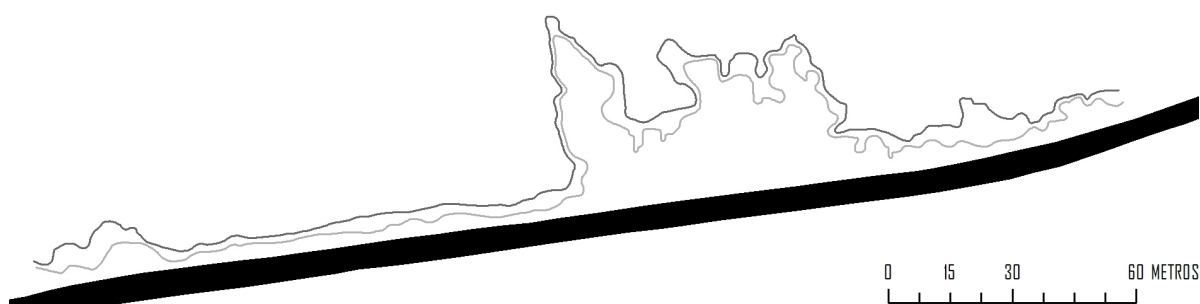


Figura 51. Diferenças entre as duas linhas de desnível em relação à E.N. 247 (a linha mais escura representa a linha de desnível de 1 metro e a mais clara a de 0,50 centímetros)

5.5.2] Elaboração da superfície

Os pontos cotados correspondentes ao limite da crista de precipitação e ao limite do desnível em relação à E.N. 247 foram interligados através de uma triangulação, originando uma superfície TIN (Figura 52), segundo a qual a superfície teórica foi baseada.

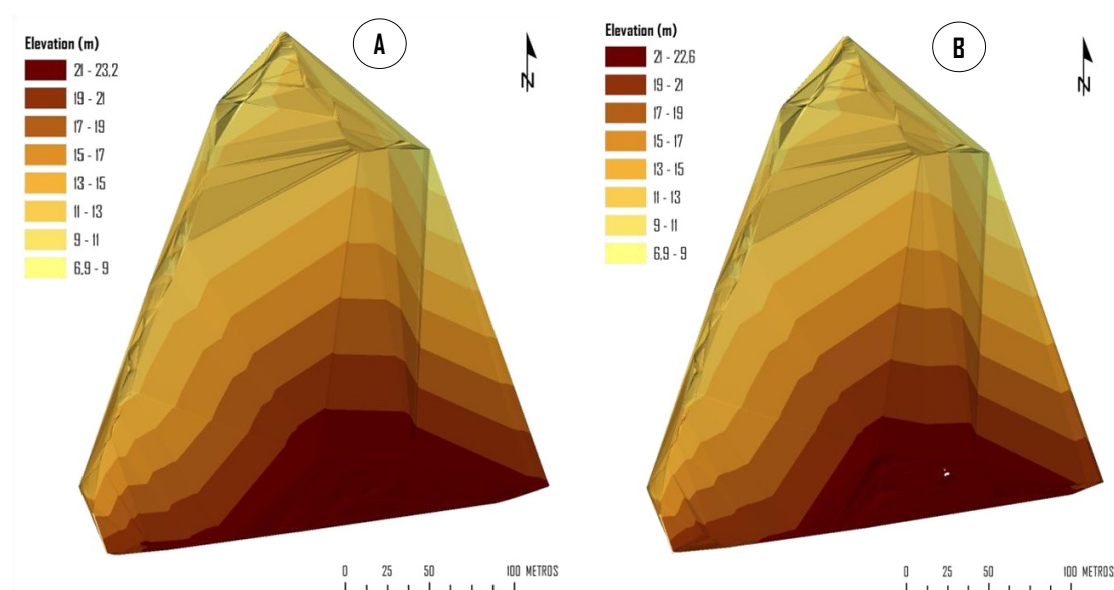


Figura 52. Superfícies TIN que interligam os pontos cotados correspondentes ao limite da crista de precipitação e ao limite do desnível em relação à E.N. 247. A – Superfície com um desnível de 0,50 metros em relação à E.N. 247; B – Superfície com um desnível de 1 metro em relação à E.N. 247

Estas superfícies são produzidas a partir da triangulação que interliga os pontos cotados pretendidos. A superfície A atinge uma cota máxima que apresenta um desnível de 0,50 metros com a E.N. 247 e a superfície B atinge uma cota máxima que apresenta um desnível de 1 metro com a mesma infraestrutura.

De modo a obter uma superfície em formato matricial, compatível com os modelos produzidos anteriormente, efectuou-se uma conversão TIN to Raster, utilizando-se uma máscara composta pela delimitação acima referida, de modo a que a superfície represente apenas a área no interior dos limites pretendidos (Figura 53).

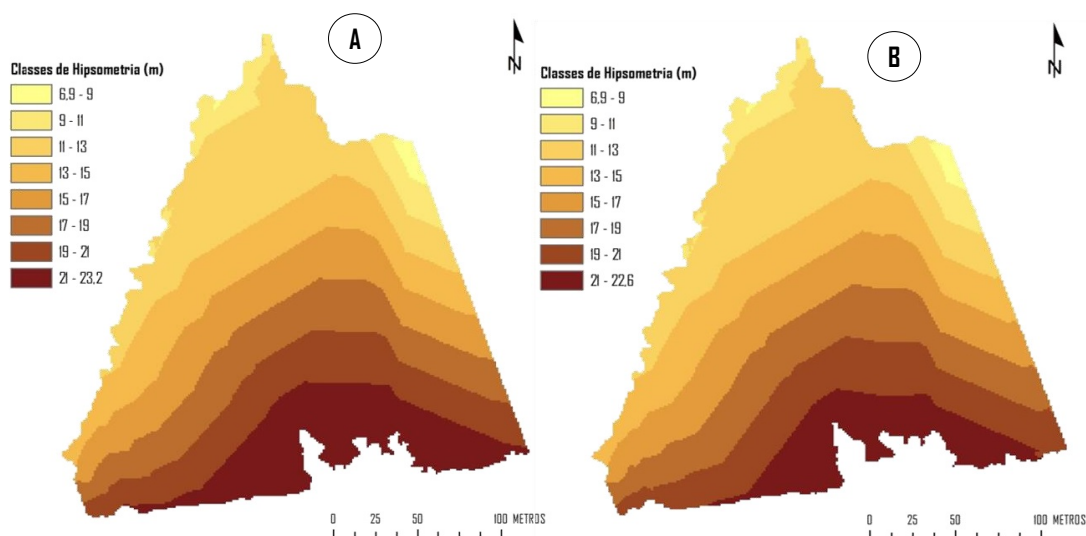


Figura 53. Superfície em formato matricial delimitada pela crista de precipitação da área de entrada de sedimentos no sistema dunar; pela direcção resultante do transporte eólico e por um desnível em relação à E.N. 247. A – Superfície com um desnível de 0,50 metros em relação à E.N. 247; B – Superfície com um desnível de 1 metro em relação à E.N. 247

A superfície A atinge uma cota máxima de 23,2 metros, apresentando o seu limite sul, um desnível de 0,50 metros para a Estrada Nacional 247 e a superfície B atinge uma cota máxima de 22,6 metros, apresentando um desnível de 1 metro com a referida infraestrutura.

No entanto, no interior da delimitação efectuada existem acumulações de sedimentos que ultrapassam a cota tida como máxima para o desenvolvimento do sistema. Nestes locais não irá ocorrer acumulação e por isso, não poderão ser contidos na superfície. Com o intuito de eliminar estas áreas recorreu-se à ferramenta Cut fill onde se utilizou a superfície de enchimento produzida e o modelo digital do terreno criado inicialmente. O resultado indica as áreas que estão acima e abaixo do nível da nova superfície criada.

As áreas cujos volumes excedem a cota definida como máxima são eliminadas da superfície (Figura 54), resultando apenas as áreas possíveis de preencher, tendo em conta os pressupostos assinalados. O modelo originado é posteriormente organizado segundo 8 classes de hipsometria que vão desde os 6,9 metros aos 23,2 ou 22,6, consoante o desnível existente entre o sistema e a E.N. 247 (Figura 55). Ambas as superfícies podem ser observadas mais detalhadamente nos Anexos x e xi.

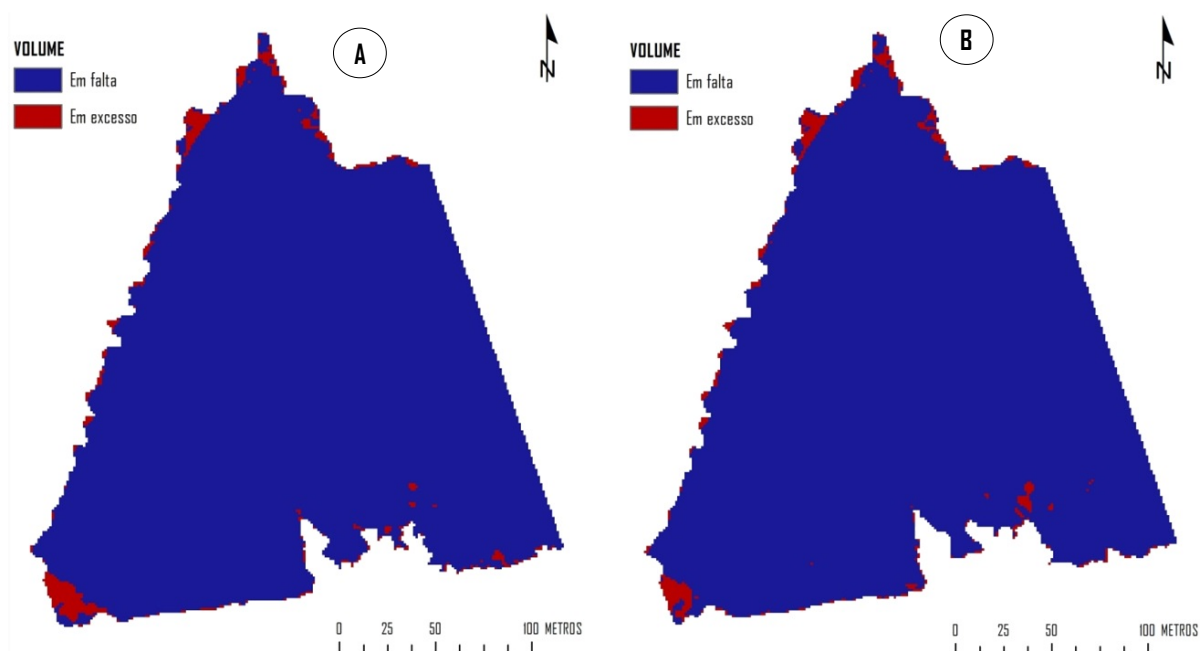


Figura 54. Delimitação dos locais onde a superfície teórica poderá ser preenchida dos locais onde não poderão ocorrer acumulações. A – Superfície com um desnível de 0,50 metros em relação à E.N. 247; B – Superfície com um desnível de 1 metro em relação à E.N. 247

Representado a vermelho encontram-se as áreas cujos volumes excedem a superfície teórica. Têm por isso de ser eliminadas, dado que a superfície só representa a área onde ocorrerá acumulação de sedimentos por transporte eólico, sem que sejam ultrapassadas as cotas máximas. O volume necessário ao preenchimento da depressão morfológica existente entre o cordão dunar frontal e a estrada nacional 247 pode agora ser calculado, assim como o tempo que esta demorará a ser preenchida, considerando que as condições inerentes ao processo de acumulação de sedimentos se mantêm idênticas ao intervalo de tempo analisado.

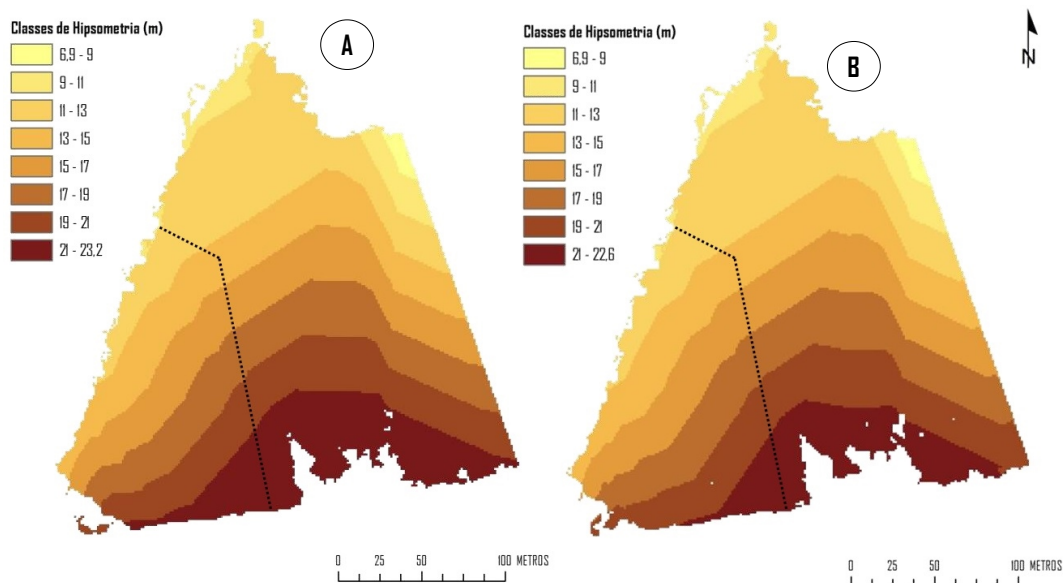


Figura 55. Superfície teórica organizada segundo classes de hipsometria - localização de perfis esquemáticos representativos. A – Superfície com um desnível de 0,50 metros em relação à E.N. 247; B – Superfície com um desnível de 1 metro em relação à E.N. 247

A subtracção de ambas as superfícies teóricas pela superfície correspondente ao actual sistema dunar, permite determinar o volume necessário ao preenchimento da depressão morfológica existente, assim como estimar a altitude da acumulação de sedimentos que terá de ocorrer. Efectuou-se a subtracção recorrendo-se à ferramenta Raster Calculator, e organizou-se os resultados em 9 classes que variam em intervalos de 1 metro entre os 0 e os 8,65 ou 8,4 metros (Figura 56), que também se podem observar nos Anexos xii e xiii.

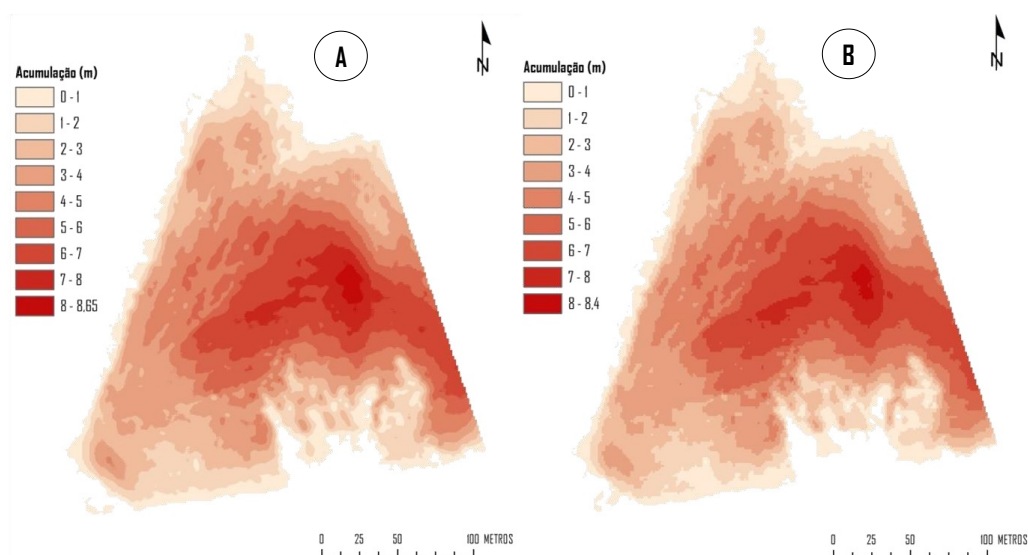


Figura 56. Diferença de elevação entre a actual superfície do sistema dunar e a superfície teórica, através da representação da acumulação de sedimentos necessária ao preenchimento da depressão morfológica actualmente existente. A – Superfície com um desnível de 0,50 metros em relação à E.N. 247; B – Superfície com um desnível de 1 metro em relação à E.N. 247

5.5.3| Cálculo do volume e do tempo de acomodação sedimentar

A subtração entre a superfície teórica estimada e o MDT correspondente à actual superfície do sistema dunar permitiu o cálculo do volume de acomodação sedimentar, isto é, o volume necessário ao preenchimento da actual depressão morfológica que existe entre o cordão dunar frontal e a Estrada Nacional 247.

A superfície teórica A, com uma área de 46998 m², tem uma capacidade de preenchimento de 171154 m³, antes de começar a interagir de forma negativa com a infra-estrutura viária que se lhe encontra adjacente.

Já a superfície B, com 46004 m² tem 163701 m³ de capacidade de acumulação, verificando-se uma diferença de capacidade de apenas 7453 m³ entre as duas superfícies criadas (Figura 57).

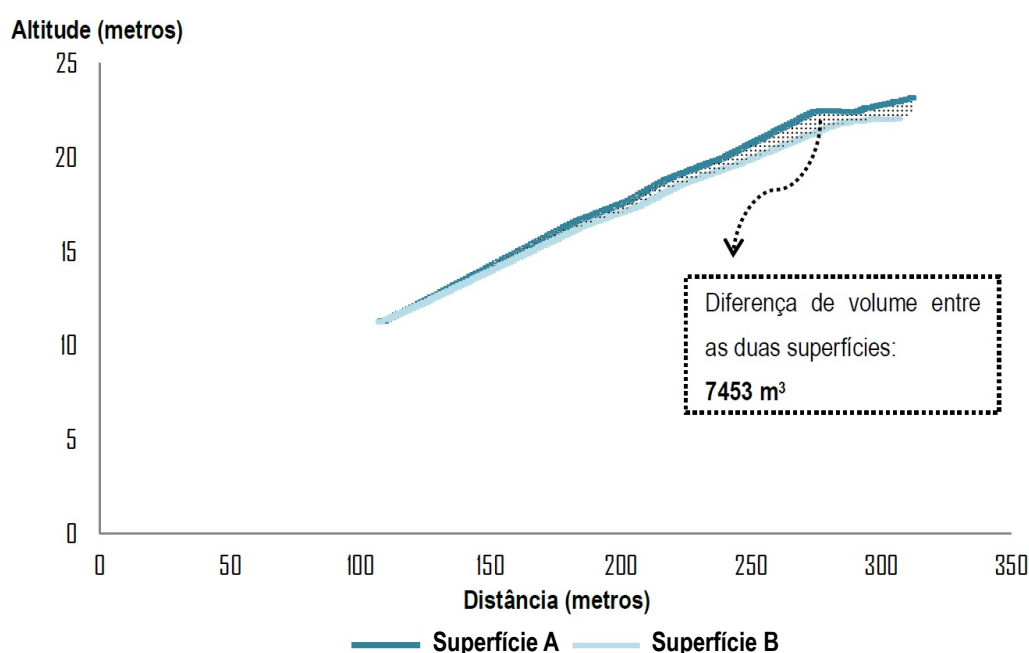


Figura 57. Perfis representativos da superfície A e superfície B

Sabendo a taxa de acumulação eólica anual e o volume de acomodação sedimentar existente, foi possível calcular o tempo que essa depressão demorará para ser preenchida, caso as condições inerentes ao transporte eólico de sedimentos não apresentem diferenças significativas no futuro, em relação ao período de tempo analisado.

O exercício teórico desenvolvido permitiu assim estimar que dentro de aproximadamente 18/19 anos, a actual depressão morfológica existente seja preenchida, de acordo com os padrões de desenvolvimento natural do sistema, enquanto superfície aplanada em equilíbrio com o regime de ventos local.

A superfície teórica A pressupõe que o sistema atinja uma cota máxima de 23,1 metros em 19 anos (em, 2034), enquanto a superfície teórica B é estimada com uma cota máxima de 22,6 metros e um preenchimento total em 18 anos (em, 2033) (Tabela 7).

Após esta data, o desenvolvimento sustentável do sistema em conformidade com os elementos da paisagem que o rodeia fica comprometido, devido à má localização da E. N. 247, uma vez que esta estabelece uma

separação artificial de um sistema que é naturalmente contínuo.

Verifica-se uma necessidade emergente de gestão deste troço de costa, de modo a permitir o desenvolvimento do sistema em equilíbrio com o meio envolvente, preservando os inúmeros recursos e potencialidades que encerra.

Tabela 7. Comparação entre a superfície A e a superfície B quanto à sua área, volume, cota máxima e tempo de acumulação estimado para o seu desenvolvimento

	ÁREA (m ²)	VOLUME (m ³)	COTA MÁXIMA (m)	TEMPO DE ACUMULAÇÃO (ANOS)
SUPERFÍCIE A	46 998	171 154	23,1	19 (ANO 2034)
SUPERFÍCIE B	46 004	163 701	22,6	18 (ANO 2033)

5.5.4| Relação entre os diferentes modelos de representação da superfície dunar

A relação entre a quantidade de sedimentos que entrou no sistema por transporte eólico de 2011 para 2014, e que possibilitou a estimativa da acumulação necessária para preencher a actual depressão morfológica até atingir as superfícies A e B, assim como a relação entre a actual superfície dunar e as superfícies teóricas desenvolvidas podem ser observadas nas figuras 58 a 61.

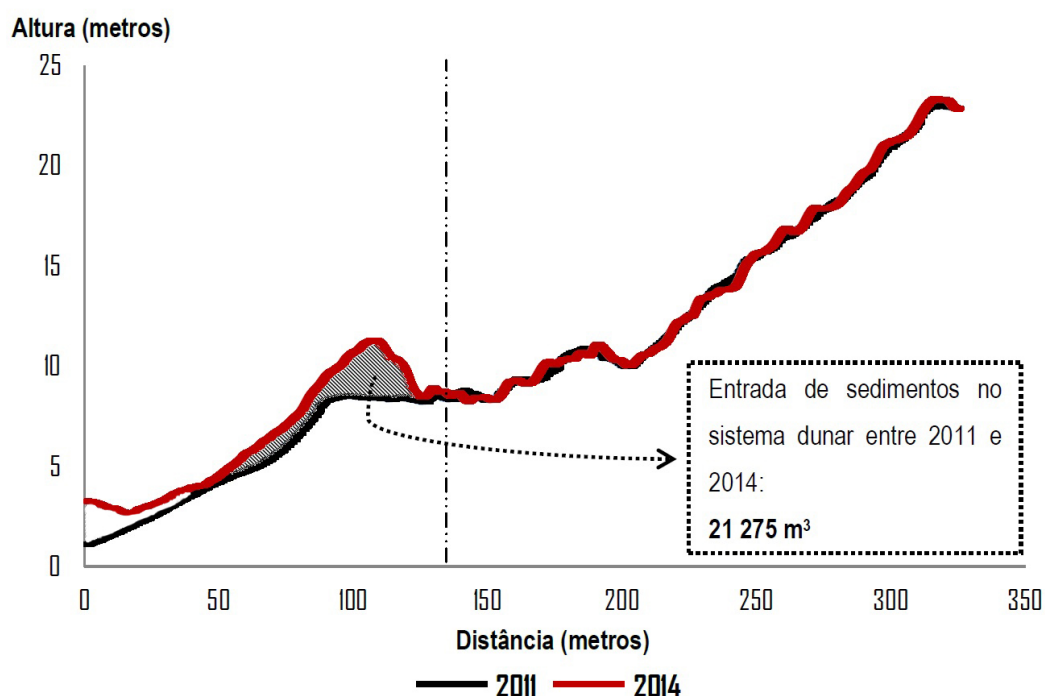


Figura 58. Quantidade de sedimentos que entrou no sistema por transporte eólico de 2011 para 2014, e que possibilitou a estimativa da acumulação necessária para preencher a actual depressão morfológica até atingir as superfícies A e B

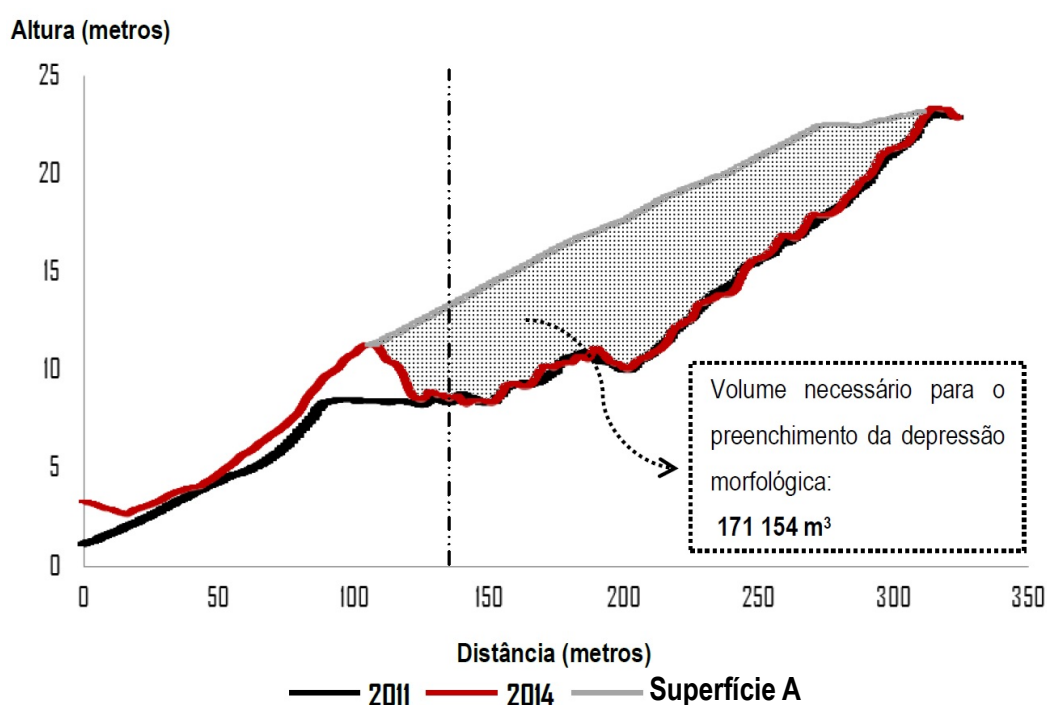


Figura 59. Relação entre os perfis representativos da superfície dunar em 2011 e 2014 com a superfície teórica A, e consequente acumulação de sedimentos necessária

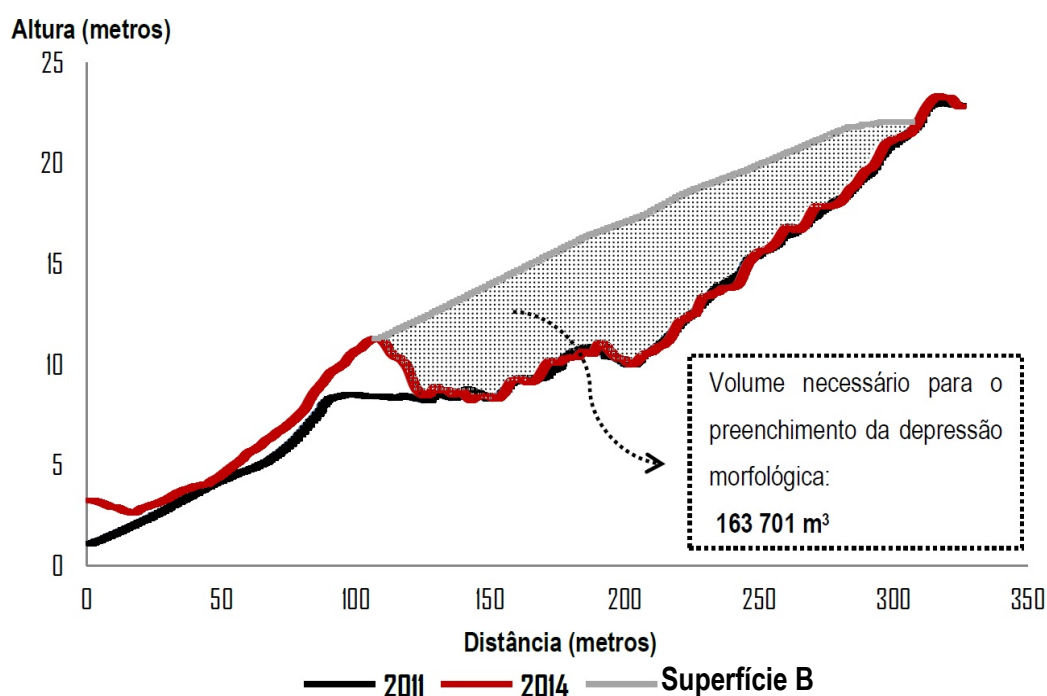


Figura 60. Relação entre os perfis representativos da superfície dunar em 2011 e 2014 com a superfície teórica B, e consequente acumulação de sedimentos necessária

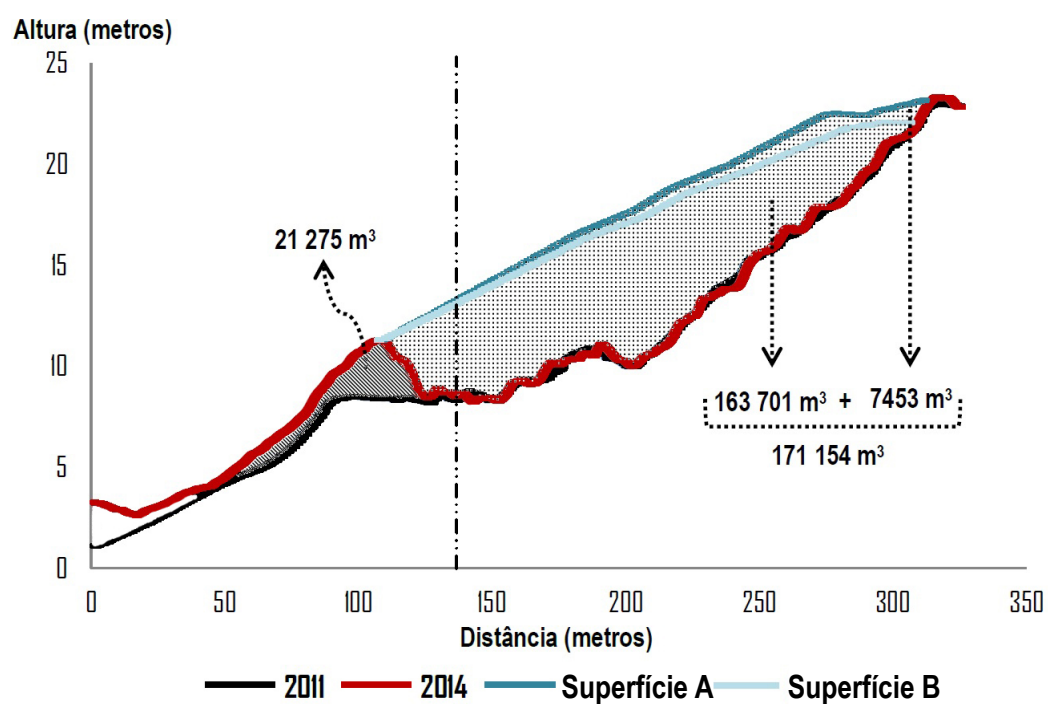


Figura 61. Relação entre os perfis representativos da superfície dunar em 2011 e 2014 com as superfícies teóricas A e B e consequentes acumulações de sedimentos

5.6| DISCUSSÃO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS

Segue-se uma sistematização dos principais resultados obtidos com a realização do presente estudo, de modo a realçar a sua importância no cumprimento dos objectivos pressupostos inicialmente.

1. Entre 2011 e 2014 ocorreu, no sistema dunar da praia do Guincho, uma acumulação sedimentar de 37642 m³ em 56% da área de estudo, onde se verificaram acumulações entre os 10 centímetros e os 3,3 metros; uma deflação de 6085 m³ em 10% da área, com variações pontuais entre os 10 centímetros e os 3,2 metros; e 34% da área permaneceu inalterada, com variações na ordem dos 20 centímetros.
2. Entre Dezembro de 2011 e Maio de 2014 observou-se assim um balanço sedimentar positivo de 31 557 m³, sendo que apenas 21 275 m³ corresponderam realmente à entrada de sedimentos no sistema durante o período de tempo analisado. Os restantes 16 367 m³ corresponderam a sedimentos já existentes na área de estudo, que se movimentaram e acumularam noutros locais através de transporte eólico.
3. A taxa de acumulação eólica anual total é de 8510 m³/ano e a taxa de acumulação eólica anual por metro de secção é de 20,39 m³/m/ano.
4. A continuação do processo de monitorização do sistema dunar iniciado pela Cascais Ambiente permitiu calcular as variações anuais de entrada de sedimentos no sistema por transporte eólico entre 2010 e 2014, e verificar que esta apresenta variações interanuais significativas. Entre 2010 e 2011 observou-se uma entrada de 19 452 m³, seguida de 6 103 m³ entre 2011 e 2012. De 2012 para 2013 voltam a observar-se números maiores, com uma entrada sedimentar de 11 127 m³ seguido de 7 423 m³ entre 2013 e 2014.
5. O número de pontos recolhidos no levantamento topográfico influencia a precisão dos resultados obtidos. Utilizando os 14326 pontos recolhidos no actual estudo, verificou-se um balanço sedimentar total de 31 557 m³, enquanto com a utilização dos 52 pontos definidos no processo de monitorização da Cascais Ambiente se verificou um balanço sedimentar total de 46 852 m³, observando-se uma diferença considerável de 15 295 m³. O reduzido número de pontos cotados pode originar valores afastados da realidade, assim como representações pouco precisas, mas mostra uma grande pertinência no sentido em que permite detectar as diferenças de acumulação de ano para ano, mostrando a variação interanual da acumulação, que não se observaria utilizando apenas o intervalo de tempo analisado no presente estudo.

6. No intervalo de tempo analisado verificam-se modificações no relevo do sistema dunar, principalmente na interface junto à frente de praia. Observa-se o desenvolvimento de um cordão dunar frontal que estabelece uma ligação com uma acumulação sedimentar pré-existente a Norte. Desenvolve-se segundo a orientação SSO-NNE e adquire altitudes que vão dos 10 aos 15 metros. Esta acumulação está relacionada com a introdução das quatro primeiras fiadas de paliçadas, introduzidas em 2010 no âmbito do Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina, que originaram acumulações na ordem dos 1,8 aos 3,3 metros. As restantes fiadas de paliçadas não promoveram acumulações significativas, observando-se por trás do cordão dunar formado, uma depressão morfológica onde não se observam grandes alterações.
7. A instalação de paliçadas no sistema dunar da praia do Guincho em 2010, no âmbito do Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina, promoveu a acumulação de sedimentos a Norte, e diminuiu o seu transporte e deposição sobre a E.N. 247. Para além da diminuição da sua deposição sobre a referida infra-estrutura, promoveu o desenvolvimento de inúmeras espécies da flora dunar, cumprindo os objectivos propostos. No entanto, este tipo de intervenção no presente sistema dunar, apenas consegue resolver temporariamente o problema da deposição de sedimentos. Caso a manutenção das paliçadas seja interrompida, a tendência natural de migração dos sedimentos para Sul voltará a originar os problemas inicialmente assinalados. Numa perspectiva de gestão sustentável do sistema dunar, não se torna viável este tipo de intervenção, apesar de se comprovar que consegue minimizar os problemas a curto prazo.
8. O exercício teórico desenvolvido permitiu estimar que dentro de aproximadamente 18/19 anos, a actual depressão morfológica existente entre o cordão dunar frontal e a E. N. 247 será preenchida, prevendo-se assim uma futura incompatibilidade entre o desenvolvimento natural do sistema e a permanência desta infra-estrutura viária.

CAPÍTULO 6|

ORIENTAÇÕES PARA A GESTÃO DO SISTEMA DUNAR

O litoral assume cada vez mais importância, tanto a nível ambiental como a nível económico, social, cultural e recreativo. A sua gestão sustentável, assim como a dos ecossistemas que encerra constitui uma necessidade, de modo a que o seu desenvolvimento natural seja compatível com as diferentes utilizações do espaço.

Devem por isso ser definidos objectivos de gestão que promovam o desenvolvimento equilibrado e sustentável deste sistema dunar em conformidade com o meio envolvente, com o intuito de salvaguardar a biodiversidade que engloba assim como o seu comportamento dinâmico e geomorfologia singular, ao mesmo tempo que se valorizam as suas potencialidades enquanto património natural e espaço recreativo.

Não sendo um dos objectivos da presente dissertação realizar uma proposta de intervenção no sistema dunar estudado, julga-se importante indicar orientações de gestão que se encontrem de acordo com o estudo efectuado, e que poderão estar na base de uma posterior proposta.

6.1| ORIENTAÇÕES DE GESTÃO

Dos anteriores estudos da dinâmica do sistema dunar do Guincho-Oitavos em conjunto com a análise, realizada neste trabalho, das alterações morfológicas ocorridas no sistema dunar da praia do Guincho durante os últimos anos, assim como do exercício desenvolvido na tentativa de prever o seu desenvolvimento futuro, surgiram algumas orientações que interessam ter em conta numa perspectiva de gestão sustentável do sistema na sua totalidade:

1. Promover a desfragmentação do sistema dunar do Guincho-Oitavos, assegurando a continuidade do seu desenvolvimento dinâmico através da desactivação e remoção do troço da Estrada Nacional 247 que atravessa e fragmenta o sistema, assim como do ordenamento das acessibilidades, promovendo a deslocação do seu atravessamento para Sul;
2. Condicionar o atravessamento pedonal do sistema através de estruturas sobrelevadas, leves e permeáveis ao vento, e ao mesmo tempo promover a interligação com os percursos pedonais já existentes a Sul, garantindo que o espaço possa ser atravessado e usufruído de forma contínua em conformidade com o seu desenvolvimento dinâmico;
3. Impedir construções sobre o sistema dunar, assim como ampliações das construções já existentes;
4. Condicionar as intervenções, tendo em conta a dinâmica própria do sistema dunar, impedindo a introdução de paliçadas em áreas que se mostrem inadequadas;
5. Organizar um programa de monitorização, que dê continuidade aos estudos iniciados.

As orientações propostas visam a manutenção do equilíbrio deste ecossistema, a salvaguarda das suas

características singulares e identitárias, assim como a minimização das situações de risco, ao mesmo tempo que promove o seu desenvolvimento enquanto atracção turística e espaço recreativo.

6.1.1| Reestruturação da Estrada Nacional 247

Os resultados do presente estudo prevêem que, se as condições inerentes à evolução do sistema dunar não apresentarem diferenças significativas no futuro, em relação ao período de tempo analisado, dentro de aproximadamente 18/19 anos a depressão morfológica actualmente existente no sistema dunar seja preenchida. Após esta data o desenvolvimento do sistema deixará de ocorrer em conformidade com os elementos que o rodeiam, nomeadamente com a estrada nacional 247. O troço que se desenvolve entre o restaurante O Faroleiro, localizado antes da praia da Cresmina e o cruzamento com a Rua Areia atravessa e fragmenta o sistema dunar do Guincho-Oitavos (Figura 62), cujos impactos já foram previamente referidos no Capítulo 3.



Figura 62. Fragmentação do sistema dunar do Guincho-Oitavos (a sombreado) pela E.N. 247

O estudo de uma solução para este troço da estrada já é mencionado no âmbito da revisão do Plano de Ordenamento do Parque Natural de Sintra-Cascais, assim como no Relatório do Projecto de Requalificação e Valorização Ambiental Guincho-Guia (UOPG 8 do POOC Sintra-Sado). No entanto, não é proposta nenhuma solução em concreto.

De modo a garantir um desenvolvimento sustentável do sistema dunar em causa e ao mesmo tempo valorizar a sua biodiversidade singular, o seu comportamento dinâmico assim como as suas potencialidades enquanto património natural e espaço recreativo e de lazer, é proposta na presente dissertação a desactivação do troço da

Estrada Nacional 247 que atravessa o sistema, e o seu deslocamento para Sul (Figura 63).



Figura 63. Localização do troço da E.N. 247 a desactivar, assim como da alternativa de acesso proposta

Esta infra-estrutura, para além de fragmentar o sistema dunar, promove a deposição de sedimentos ao longo da sua extensão. Como já foi referido, o vento provoca o transporte dos sedimentos depositados a Norte em direcção ao interior. Ao atravessarem a referida infra-estrutura ficam muitas vezes retidos sobre ela e para além de não prosseguirem o seu trajecto natural para Sul, a sua deposição causa transtornos na circulação e cria situações de insegurança. Algumas soluções têm sido encontradas para a resolução deste problema, nomeadamente:

- A limpeza periódica da estrada, para remover os sedimentos que sobre ela se depositam;
- A colocação de paliçadas na zona de alimentação do sistema, que promove a sua acumulação a Norte, diminuindo consideravelmente a acumulação de sedimentos sobre a referida infra-estrutura. Quando mal planeadas, estas estruturas geram frequentemente acumulações a sul, levando igualmente à deposição de areia sobre a estrada (dunas de sombra).

No entanto, ambas as soluções são efémeras. Resolvem o problema temporariamente, mas caso a sua manutenção seja interrompida, a tendência natural de migração dos sedimentos para Sul voltará a originar deposições de areia sobre a infra-estrutura viária, conduzindo de novo aos problemas acima mencionados.

De forma a resolver o problema definitivamente, promovendo o desenvolvimento natural do sistema em conformidade com a sua utilização sustentável, que garante uma multiplicidade de actividades é sugerida a

desactivação e remoção do troço da E.N. 247 entre o restaurante Muchaxo e o cruzamento com a Rua Areia. O troço que se desenvolve entre o restaurante O Faroleiro e o restaurante Muchaxo também fragmenta o sistema entre a zona de alimentação e a zona de acumulação. No entanto, ao longo do seu percurso existem vários espaços e estruturas de apoio turístico importantes para o desenvolvimento cultural da região, cujo acesso deverá ser mantido (Figura 64).

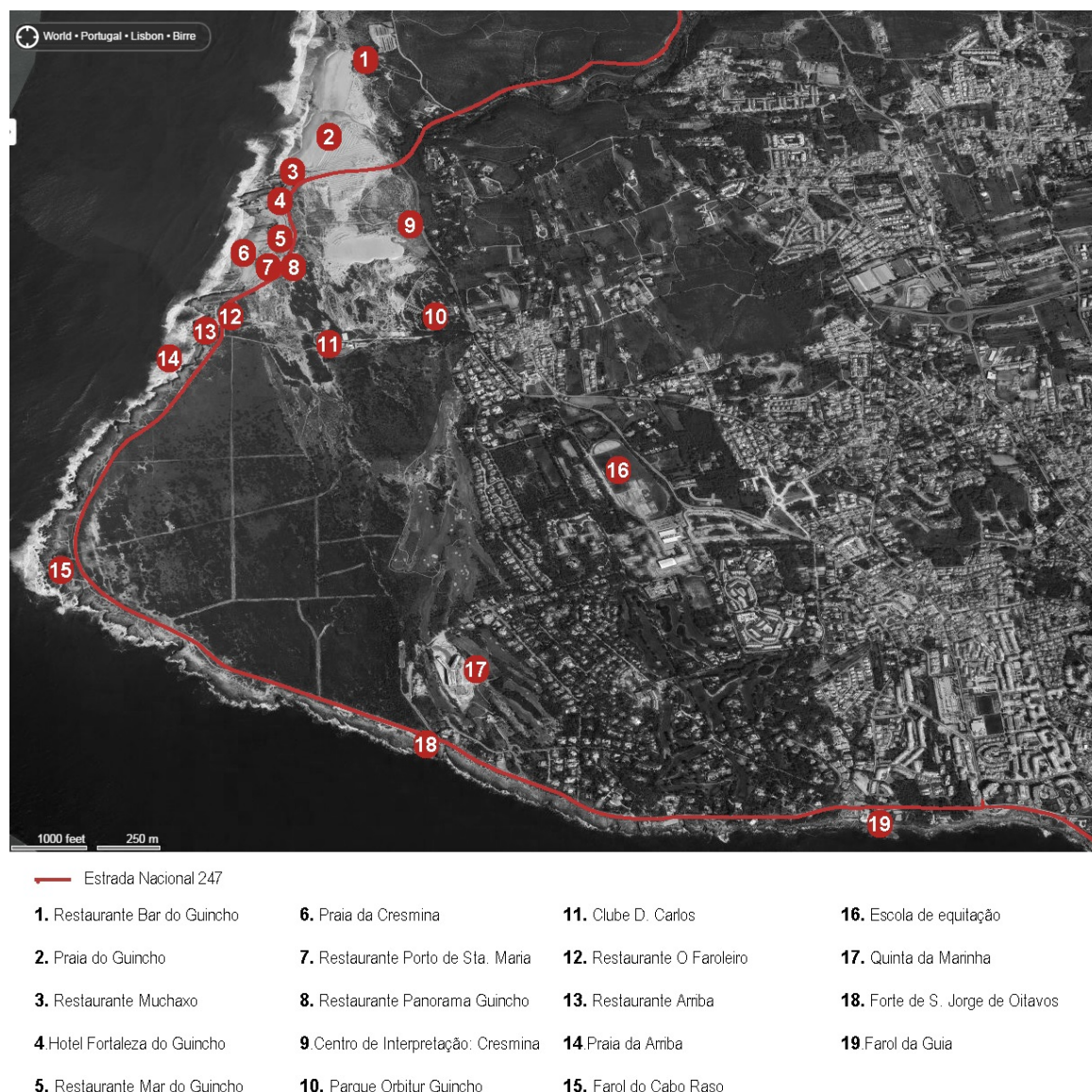


Figura 64. Localização dos principais espaços e estruturas de lazer e apoio turístico

Deste modo, é admitido o seu desenvolvimento entre o restaurante O Faroleiro e o restaurante Muchaxo, sendo proposta a sua desactivação apenas para o percurso entre o restaurante Muchaxo e o seu cruzamento com a Rua Areia. O seu deslocamento para Sul não interrompe a actividade dinâmica que ocorre junto à zona de alimentação do sistema, e garante o seu desenvolvimento em conformidade com os elementos da paisagem. O desenvolvimento sustentável do sistema dunar é um objectivo prioritário, assim como organizar e assegurar a

existência de respostas eficazes para as necessidades de quem visita o espaço.

Deste modo, verifica-se que a desactivação e remoção deste troço da estrada apesar de provocar uma alteração no principal fluxo de circulação viária, não causa um impedimento aos visitantes (Figuras 65 e 66).



Figura 65. Principais eixos de circulação viária existentes actualmente



Figura 66. Principais eixos de circulação viária propostos

6.1.2| Condicionamento do atravessamento do sistema dunar

O atravessamento do sistema dunar entre o restaurante Muchaxo e a o cruzamento com a Rua Areia, apesar de deixar de ser possível através da circulação viária será possível através da circulação pedonal. A sua travessia deverá ocorrer apenas através de percursos sobreelevados, na continuação do condicionamento de acessos que se tem vindo a verificar desde a implementação do Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina. Estes devem ser leves, permeáveis e facilmente removíveis em caso de necessidade.



Figura 67. Principais eixos de circulação pedonal existentes actualmente

É proposta a sua interligação com os percursos pedonais actualmente existentes a Sul, implementados no âmbito do Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina (Figuras 67 e 68).



Figura 68. Principais eixos de circulação pedonal propostos

Estes trilhos, para além de não interferirem com o desenvolvimento do sistema dunar, permitem que o espaço seja percorrido, potenciando a vivência da paisagem e contribuindo para a descoberta dos valores naturais e patrimoniais que encerra.

CAPÍTULO 7|

CONCLUSÕES

A elaboração da presente dissertação permitiu concretizar os objectivos estabelecidos, nomeadamente a quantificação das mudanças ocorridas na superfície do troço sul do sistema dunar da praia do Guincho nos últimos anos; a criação de uma superfície teórica que estima um possível desenvolvimento futuro e permite calcular o tempo que irá demorar para que a evolução natural do sistema se torne incompatível com a existência da Estrada Nacional 247; e por fim, sugerir medidas de gestão sustentável deste troço costeiro, baseadas no estudo realizado.

No intervalo de tempo analisado observam-se modificações significativas no relevo do sistema dunar, principalmente na interface junto à frente de praia. Observou-se o desenvolvimento do cordão dunar frontal com uma orientação SSO-NNE, formado devido à introdução de paliçadas no sistema em 2010, na sequência do Projecto de Recuperação do Sistema Dunar Guincho-Cresmina. Estas funcionaram como barreiras ao transporte eólico de sedimentos e promovem a sua acumulação, numa zona onde naturalmente ela não acontece.

O estudo da dinâmica sedimentar eólica permitiu concluir que entre 2011 e 2014 se depositaram 21275 m³ na duna frontal, com uma taxa de acumulação de 20,39 m³/m/ano.

Por trás da duna frontal verificou-se a existência de uma depressão morfológica que vai aumentando gradualmente de cota à medida que se aproxima da Estrada Nacional 247. Nesta zona não se observaram grandes alterações durante o período de tempo estudado. No extremo NNE da área de estudo, assim como na zona de maior altitude, nas imediações da E. N. 247, também se observam grandes acumulações, mas estas não foram originadas pela introdução de paliçadas na referida data.

Sem a introdução de paliçadas, a acumulação verificada junto à zona de praia não seria tão significativa, devido às características desse sistema dunar específico. Ele encontra-se integrado no sistema dunar do Guincho-Oitavos, um dos mais notáveis corredores eólicos do continente europeu. Os sedimentos têm tendência a migrar para sul e não se acumulam junto à linha de costa.

Deste modo, as acumulações promovidas nos últimos anos encontram-se em desequilíbrio com o regime de ventos local, e por esse motivo, uma eventual ausência de manutenção das estruturas que promovem a sua acumulação a Norte, gera situações de mobilização de areias para sul, e consequente acumulação sobre a infraestrutura viária que atravessa o sistema dunar.

Os métodos utilizados no presente estudo permitiram concluir que o desenvolvimento natural deste sistema dunar demorará aproximadamente 18 a 19 anos para se encontrar numa situação de incompatibilidade com a Estrada Nacional 247. A partir dessa data, e quando a depressão se encontrar preenchida, serão esperados volumes de atravessamento de areia, na EN 247, superiores a 20,39 m³, por cada metro de estrada.

A gestão desta paisagem costeira é assim fundamental, de modo a que o desenvolvimento natural do sistema

possa ocorrer em conformidade com o meio envolvente, salvaguardando os inúmeros recursos que encerra. Apesar dos esforços realizados na tentativa de conciliar a dinâmica do sistema dunar com a existência de uma infra-estrutura viária que o fragmenta, eles apenas mantêm uma situação que se mostra insustentável a longo prazo.

A desfragmentação do sistema dunar é por isso fundamental, não só para possibilitar o seu desenvolvimento natural, mas também para assegurar respostas eficazes e seguras que satisfaçam as necessidades de quem visita o espaço.

Todas as paisagens são singulares e detentoras de uma identidade própria, que as torna únicas e diferentes de todas as outras. Enquanto agentes activos no planeamento do território é o nosso dever estudar cada paisagem em particular, na tentativa de abranger todas as suas componentes físicas, biológicas e socioculturais, assim como as dinâmicas e processos que lhes são inerentes. Deste modo possibilita-se a compreensão dos seus principais problemas assim como o modo de os resolver, de acordo com todas as suas potencialidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C. & M.C. Freitas (2002). Coastal Zones in F. D. Santos, K. Forbes e R. Moita (eds.), *Climate change in Portugal: Scenarios, impacts and adaptation measures*. SIAM Project. Gradiva. Lisboa.
- Andrade, Francisco; Cabral, H. Cabral; M. F. Borges et. al. (2009). *Ecossistemas e Bem-Estar Humano - Avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment*. Escolar Editora. Lisboa.
- Arun, A.B., K. R. Beena, et al. (1999). Coastal sand dunes - A neglected ecosystem. *Current Science* 77(1).
- Ashby, N. (2003). Relativity in the Global Positioning System. University of Colorado.
- Bailey, S.D. & C.S. Bristow (2004). Migration of parabolic dunes at Aberffraw, Anglesey, north Wales. *Geomorphology* (59): 165–174.
- Baltazar, L. & C. Martins (2005). *Atlas do Parque Natural de Sintra-Cascais*.
- Baptista, P., L. Bastos, T. Cunha, C. Bernardes & J.A. Dias (2008). Aplicação de metodologias de monitorização GPS em litorais arenosos: Geração de modelos de elevação do terreno. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 8(1): 9–23.
- Barrère, P. (1992). Dynamics and management of the coastal dunes of the Landes, Gascony, France. In: *Coastal dunes: Geomorphology, Ecology and Management for conservation*. CRC Press.
- Bertoni, D. & G. Sarti (2011). On the profile evolution of three artificial pebble beaches at Marina di Pisa, Italy. *Geomorphology* 130(3)–(4) (Julho 15): 244–254.
- Cardoso, N. & C. Carvalho (2003). *Relatório Técnico do Plano de Ordenamento do Parque Natural de Sintra-Cascais*.
- Childs, C. (2004). Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. *ArcUser - ESRI Education Services*.
- Coelho, R.M.S. & P.F. Ribeiro (2007). Topografia - Sistemas de Posicionamento Global. Universidade Nova de Lisboa - FCT.

- Costa, J.C. (2001). Tipos de vegetação e adaptações das plantas do litoral de Portugal Continental. *Albergaria Moreira, M.E., A. Casal Moura, H.M. Granja & F. Noronha (ed.)*(Braga. Universidade do Minho).
- Costa, J.C., M. Lousã, J. Capelo, M.D. Espírito Santo, J.I. Sevillano & P. Arsénio (2000). The coastal vegetation of the portuguese divisory sector: dunes cliffs and low-scrub communities. *Finisterra XXXV*(69): 69–93.
- Cruz, C.S. (1984). *Algumas notas sobre a vegetação das dunas litorais*.
- Dassot, M., T. Constant & M. Fournier (2011). The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of Forest Science* 68(5) (Agosto 1): 959–974.
- Everard, M., L. Jones & B. Watts (2010). Have we neglected the societal importance of sand dunes? An ecosystem services perspective. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 20(4) (Junho 1): 476–487.
- Gomes, N. & F. Valverde (2003). Cartografia da dinâmica dunar em Portugal, a Sul do Tejo. *Ciências da Terra*(esp. V): 69–72.
- Grafals-Soto, R. (2012). Effects of sand fences on coastal dune vegetation distribution. *Geomorphology*: 45–55.
- Grafals-Soto, R. & K. Nordstrom (2009). Sand fences in the coastal zone: intended and unintended. *Environmental Management*(44): 420 – 429.
- Habib, A.F., A.P. Kersting, A. Shaker & W.-Y. Yan (2011). Geometric Calibration and Radiometric Correction of LiDAR Data and Their Impact on the Quality of Derived Products. *Sensors* 11(9) (Setembro 21): 9069–9097.
- Heslenfeld, P., P.D. Jungerius & J.A. Klijn (2004). European coastal dunes: ecological values, threats, opportunities and policy development. In: *Coastal dunes: Ecology and Conservation*, 171:335–349. Springer.
- Hesp, P. (1988). Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in Southeast Australia. *Sedimentary Geology*(55): 17–41.
- (2002). Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*(48): 245–268.
- Hesp, P.A. & A.D. Short (1982). Wave, Beach and Dune Interactions in Southeastern Australia. *Marine Geology*(48): 259–284.

- Hesp, P., M. Martínez, G.M. da Silva & N. Rodríguez-Revelo (2011). Transgressive dunefield landforms and vegetation association, Doña Juana, Veracruz, Mexico. *Earth surface processes and landforms*(36): 285–295.
- Hodgson, M.E. & P. Bresnahan (2004). Accuracy of Airborne Lidar-Derived Elevation: Empirical Assessment and Error Budget. *Photogrammetric Engineering and Remote. Sensing*: 331–339.
- Holmes, D. (2001). The geography of Coastal Sand Dunes. *Geo Factsheet*(119).
- De Jong, B., J.G.S. Keijzers, M.J.P.M. Riksen, J. Krol & P.A. Slim (2014). Soft Engineering vs. a Dynamic Approach in Coastal Dune Management: A Case Study on the North Sea Barrier Island of Ameland, The Netherlands. *Journal of Coastal Research* (Fevereiro 11): 670–684.
- Lang, M., G. McCarty, B. Wilen & J. Awl (2010). Light Detection and Ranging: New Information for Improved Wetland Mapping and Monitoring 32(5): 6.
- Laranjeira, M.M. (2009). Fragmentação pelo pisoteio dos sistemas de duna frontal: casos de Vila Nova de Gaia. Universidade do Minho.
- Lefsky, M.A., W.B. Cohen, G.G. Parker & D.J. Harding (2002). Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies Lidar, an emerging remote sensing technology that directly measures the three-dimensional distribution of plant canopies, can accurately estimate vegetation structural attributes and should be of particular interest to forest, landscape, and global ecologists. *BioScience* 52(1) (Janeiro 1): 19–30.
- Lourenço, C.S., A.C. de Almeida & P. Baptista (2013). Dinâmica da duna frontal em função das intervenções humanas: análise de três exemplos do litoral centro de Portugal. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território* 1(4) (Dezembro 30): 129–152.
- Martínez, M.L., M.A. Maun & N.P. Psuty (2004a). The fragility and conservation of the world's coastal dunes: geomorphological, ecological and socioeconomic perspectives. In: Martínez, M. L., Psuty, N. P. (Eds.), *Ecological Studies 171, Coastal Dunes: Ecology and Conservation*. Springer, Berlin, pp. 355 - 367.
- Martínez, M.L., N.P. Psuty & R.A. Lubke (2004b). A perspective on coastal dunes. In: Martínez, M. L., Psuty, N. P. (Eds.), *Ecological Studies 171, Coastal Dunes: Ecology and Conservation*. Springer, Berlin, pp. 3 – 10.
- Martinho, C.T., S.R. Dillenburg & P. Hesp (2008). Mid to late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. *Marine Geology*(256): 49–64.

- Matos, J. (2008). *Fundamentos de Informação Geográfica*. 6ª ed. Lidel.
- Maun, M.A. (2009). *The biology of coastal sand dunes*. Oxford University Press. Oxford.
- McLachlan, A. & M. Burns (1992). Headland bypass dunes on the South African coast: 100 years of (mis)management. In: *Coastal dunes: Geomorphology, Ecology and Management for conservation*. CRC Press.
- Van der Meulen, F. & M. Janssen (1992). Towards a monitoring programme for European coastal environments. In: *Coastal dunes: Geomorphology, Ecology and Management for conservation*. CRC Press.
- Mills, J.P., S.J. Buckley, H.L. Mitchell, P.J. Clarke & S.J. Edwards (2005). A geomatics data integration technique for coastal change monitoring. *Earth Surface Processes and Landforms* 30(6) (Junho 1): 651–664.
- Mitasova, H., M. Overton & R.S. Harmon (2005). Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina. *Geomorphology* 72(1)–(4) (Dezembro): 204–221.
- National Oceanic and Atmospheric Administration & (NOAA) Coastal Services Center (2012). *LiDAR 101: An introduction to LiDAR Technology, Data, and Applications*. Charleston, SC: NOAA Coastal Services Center.
- Navarro, M., J.J. Muñoz-Pérez, J. Román-Sierra, H. Tsoar, I. Rodríguez & G. Gómez-Pina (2011). Assessment of highly active dune mobility in the medium, short and very short term. *Geomorphology* 129(1)–(2) (Junho 1): 14–28.
- Paixão, R. (2011). Avaliação da Vulnerabilidade Biofísica do Sistema Dunar de Peniche-Baleal. Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa. Lisboa.
- (2013). Caracterização Morfo-ecológica do sistema dunar de Peniche-Baleal (Costa Ocidental Portuguesa). *Finisterra* XLVIII(95): 41–60.
- Pereira, A.R. (1987). Acumulações arenosas eólicas consolidadas do litoral do Alentejo e Algarve Ocidental. Relatório nº.27, Centro de estudos geográficos - I.N.I.C. Lisboa.
- Pereira, A.R. & D.E. Angelucci (2004). Formações dunares no litoral português, do final do Plistocénico e inícios do Holocénico, como indicadores paleoclimáticos e paleogeográficos In A. A. Tavares, M. J. Ferro Tavares e J. L. Cardoso (Eds.). *Evolução geohistórica do litoral português e fenómenos correlativos*

- Geologia, História, Arqueologia e Climatologia(Universidade Aberta): 221–256.
- Psuty, N.P. (2004). The coastal foredune: a morphological basis for regional coastal dune development. In: *Coastal Dunes: Ecology and Conservation*, 171:11–25. Springer.
- Ramalho, M.M. & et al. (1981). *Carta Geológica de Portugal, Notícia explicativa da Folha 34Cascais*, ed. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Rebêlo, L.P. (1995). Dinâmica do Sistema Dunar do Guincho-Oitavos. Dissertação de Mestrado em Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. Lisboa.
- (2004). Evolução e Dinâmica dos Sistemas Dunares da Manta Rota e do Guincho-Oitavos: Dois Sistemas Distintos na Evolução das Dunas Costeiras em Portugal. Dissertação de Doutoramento, Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.
- Rebêlo, L.P. & P.O. Brito (2004). A importância das dunas frontais na avaliação da evolução da linha de costa - O caso da Praia da Manta Rota. *Departamento de Geologia Marinha - INETI*.
- Reutebuch, S.E., H.-E. Andersen & R.J. McGaughey (2005). Light Detection and Ranging (LIDAR): An Emerging Tool for Multiple Resource Inventory. *Journal of Forestry* 103(6) (Setembro 1): 286–292.
- Roxo, J.G., C.S. Cruz, A. Amado & T.A. e Cunha (1992). O Ordenamento do Litoral em Sistemas Dunares: Estudo-caso - Casal do Botado, Consolação/Peniche. *GEONOVAS*(1): 14.
- Saye, S.E., D. Van der Wal, K. Pye & S.J. Blott (2005). Beach-dune morphological relationships and erosion/accretion: An investigation at five sites in England and Wales using LIDAR data. *Geomorphology*(72): 128–155.
- SPECO & Agência Cascais Natura (2011). *Projecto de Recuperação da Duna da Cresmina - 2º Curso de Restauração Ecológica de Sistemas Dunares*.
- Taborda, R., C. Andrade, F. Marques, M. da C. Freitas, R. Rodrigues, C. Antunes & C. Pólvora (2010). Plano estratégico de Cascais face às alterações climáticas: Sector Zonas Costeiras.
- Trimble (2001). *Trimble Survey Controller - User Guide*. Trimble Navigation Limited.
- Ussyshkin, V. & L. Theriault (2011). Airborne Lidar: Advances in Discrete Return Technology for 3D Vegetation Mapping. *Remote Sensing* 3(3) (Fevereiro 25): 416–434.

Woolard, J.W. & J.D. Colby (2002). Spatial characterization, resolution, and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. *Geomorphology* 48(1)–(3). 29th Binghamton Geomorphology Symposium: Coastal Geomorphology (Novembro 1): 269–287.

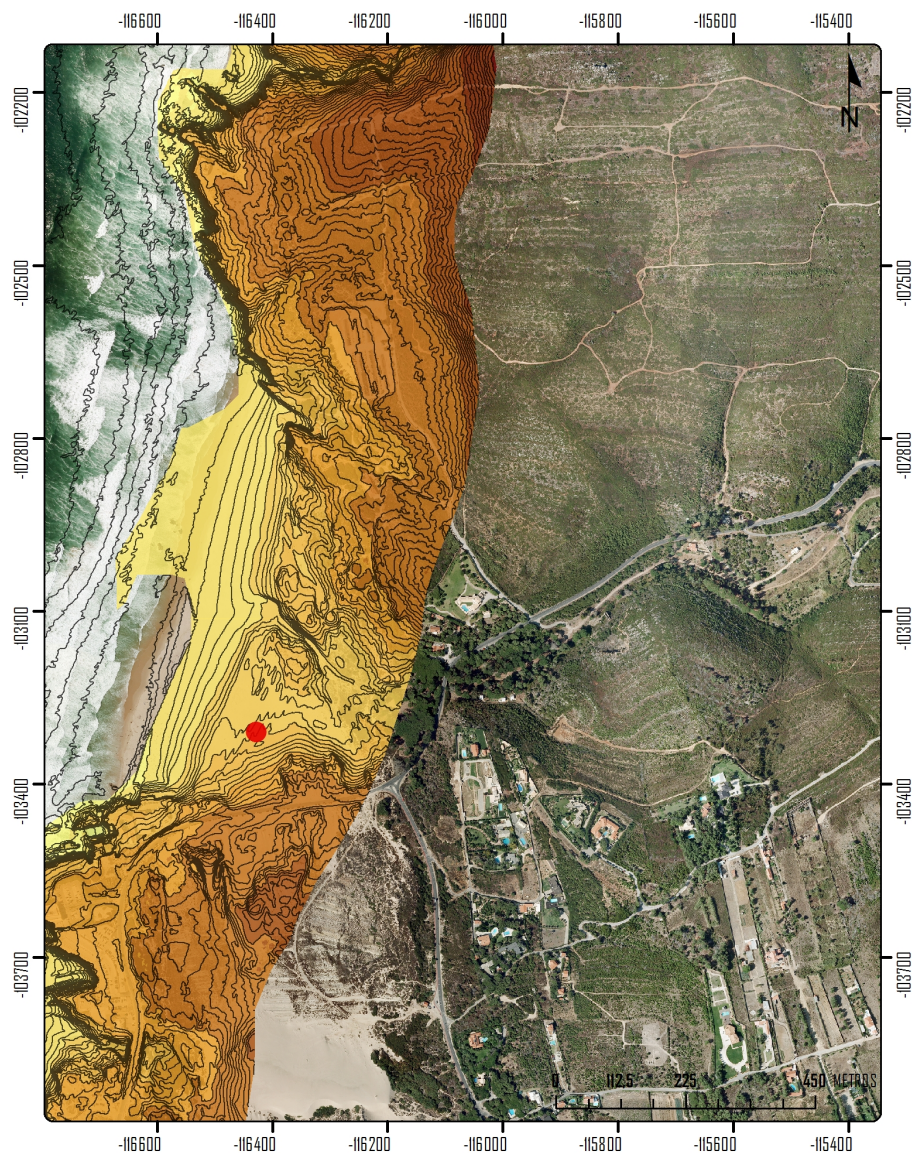
Yang, J., D. Seo, H. Lim & C. Choi (2010). An analysis of coastal topography and land cover changes at Haeundae Beach, South Korea. *Acta Astronautica* 67(9)–(10) (Novembro): 1280–1288.

Young, E.J. (2012). Direct acquisition of elevation data using dGPS. *Geomorphological Techniques* 2.

LEGISLAÇÃO E RELATÓRIOS CONSULTADOS:

- Relatório do POOC Sintra-Sado
- UOPG8 do POOC Sintra-Sado – Projecto de Requalificação e Valorização Ambiental do Troço de Costa Guincho-Guia
- Relatório Técnico do Plano de Ordenamento do Parque Natural de Sintra-Cascais
- Decreto-Lei n.º 159/2012, de 24 de Julho: Artigo 6º e 8º

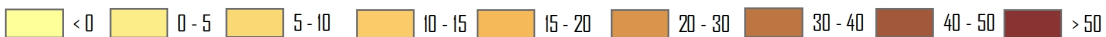
ANEXOS|



LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO EFECTUADO COM TECNOLOGIA LIDAR - 2011

Cascais - Faixa costeira

Classes de Hipsometria (m)



— Curvas de nível com intervalo de 1 metro

● Guincho

Escala 1:10.000
 Projecção de Gauss
 Elipsóide Internacional - Datum Lisboa

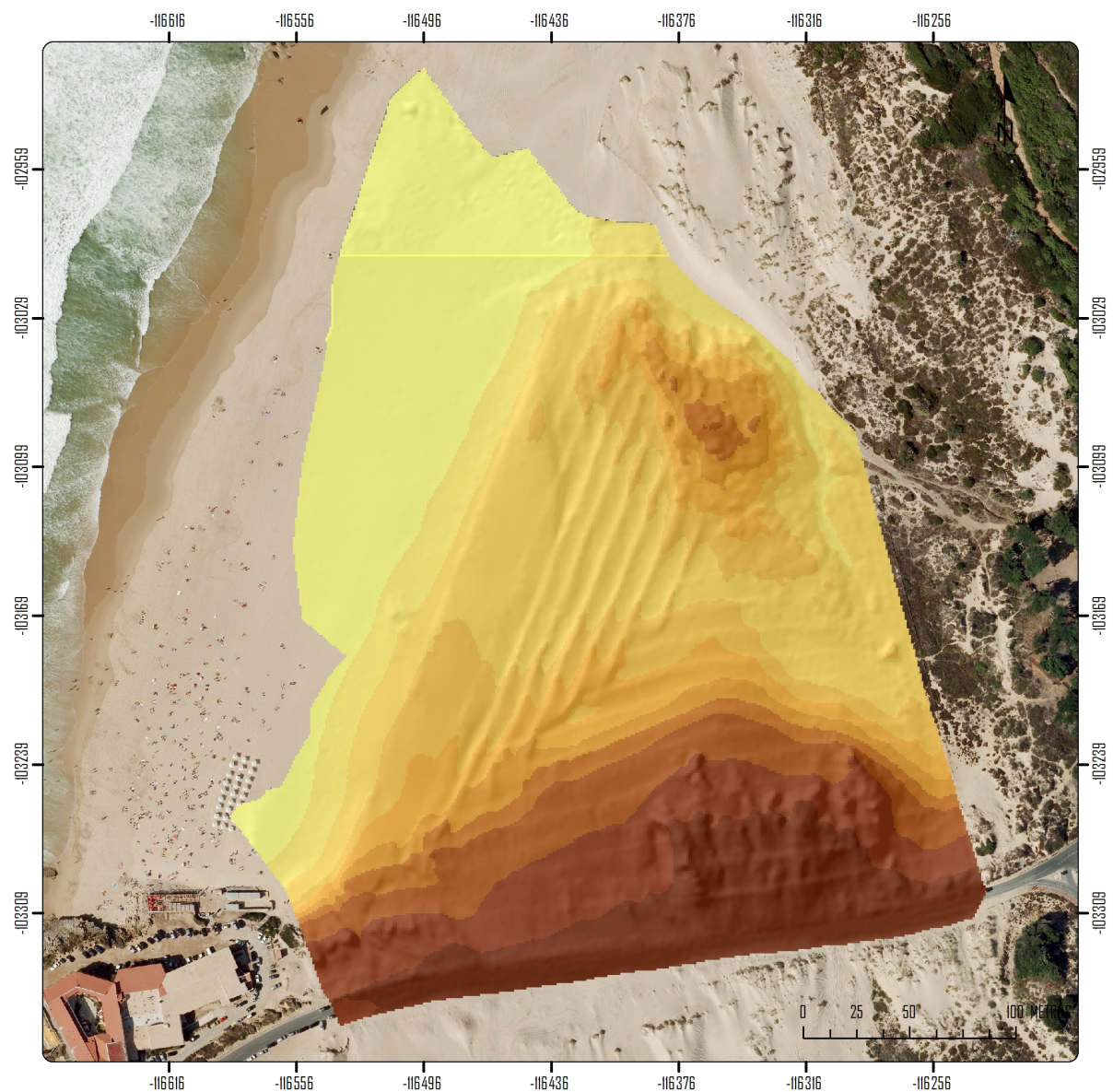


ALTIMETRIA 2011*
Sistema dunar do Guincho

Altimetria

—— Curvas de nível com intervalo de 1 metro

Escala 1:2.500
Projeção de Gauss
Elipsóide Internacional - Datum Lisboa
* Levantamento topográfico efectuado com tecnologia LiDAR



HIPSOMETRIA 2011*

Sistema dunar do Guincho

Classes de Hipsometria (m)

0 - 5	11 - 12
5 - 7	12 - 13
7 - 9	13 - 16
9 - 10	16 - 20
10 - 11	20 - 24,5

Escala 1:2.500
Projeção de Gauss
Elipsóide Internacional - Datum Lisboa

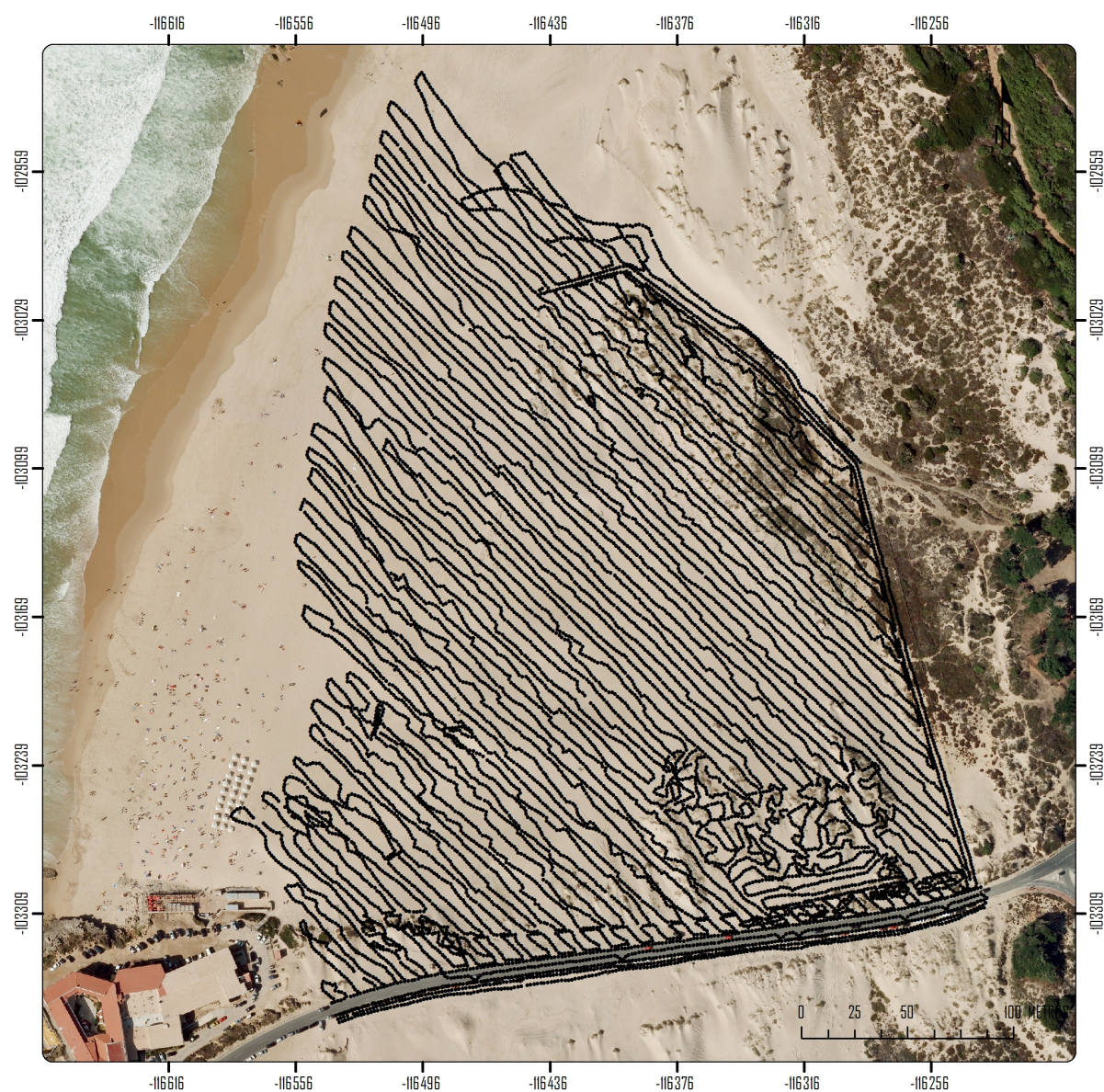
* Levantamento topográfico efectuado com tecnologia LiDAR



PLANEAMENTO DO LEVANTAMENTO COM DGPS
Sistema dunar do Guincho

— Percursos com espaçamento de 5 metros

Escala 1:4.000
Projeção de Gauss
Elipsóide Internacional - Datum Lisboa

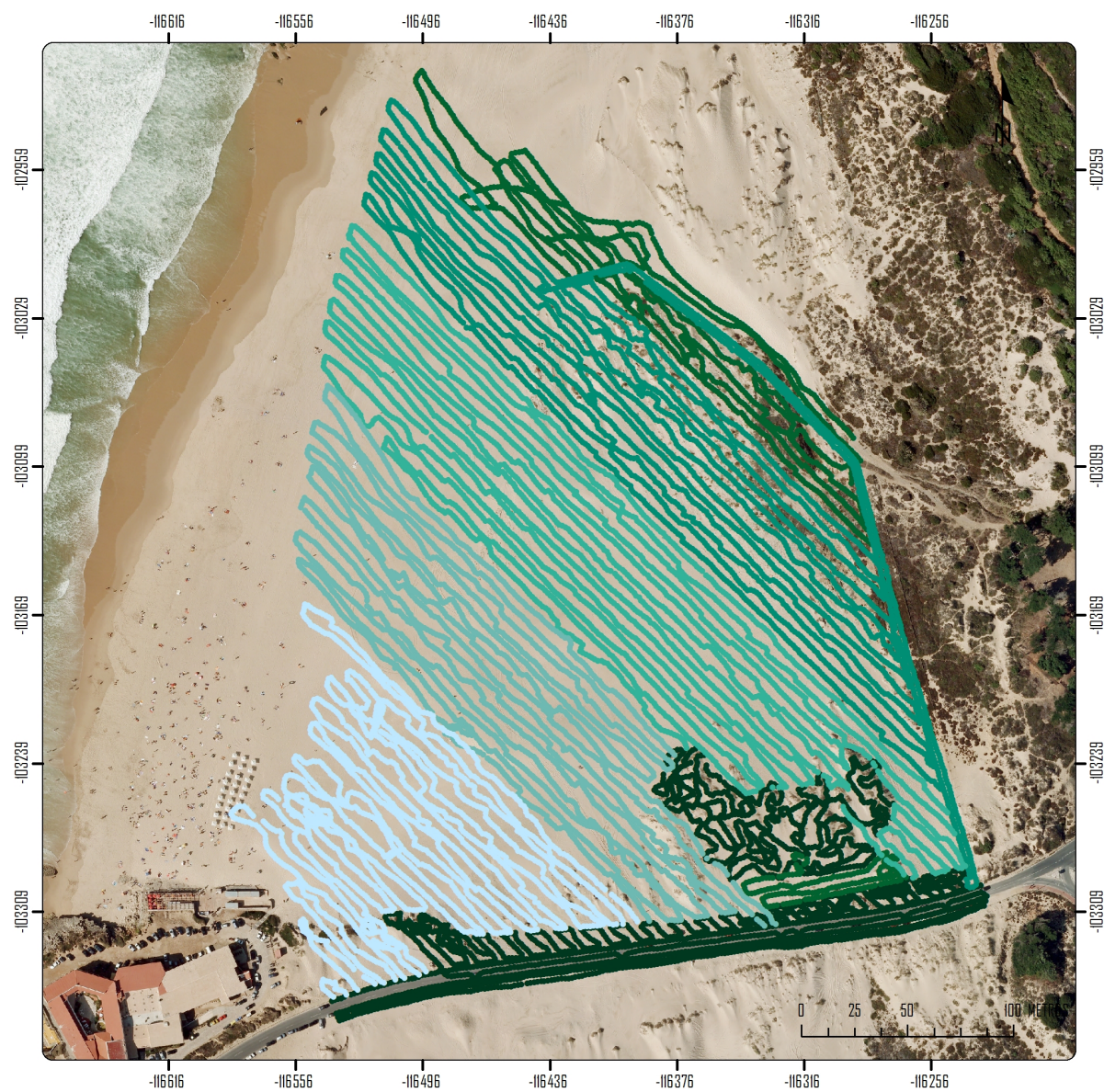


LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO EFECTUADO COM DGPS I

Sistema dunar do Guincho

- Pontos cotados: total de 14.326 pontos

Escala 1:2.500
Proiecção de Gauss
Elipsóide Internacional - Datum Lisboa



LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO EFECTUADO COM DGPS II

Sistema dunar do Guincho

• 17.04.2014 • 22.04.2014 • 23.04.2014 • 07.05.2014 • 08.05.2014 • 30.05.2014

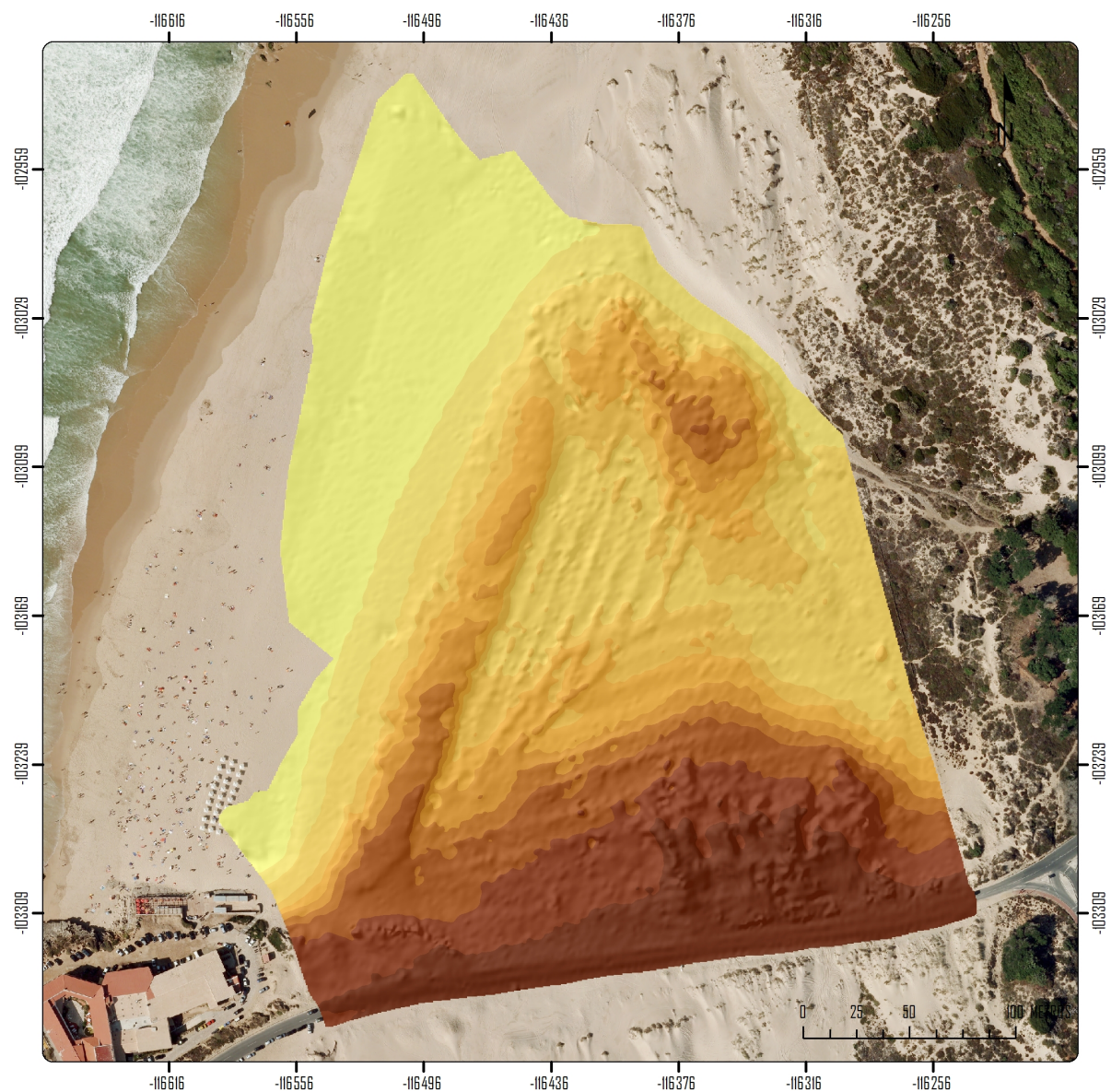
Escala 1:2.500
Projectão de Gauss
Elipsóide Internacional - Datum Lisboa



Altimetria











— Curvas de nível com intervalo de 1 metro

Escala 1:2.500
Projeção de Gauss
Elipsóide Internacional - Datum Lisboa

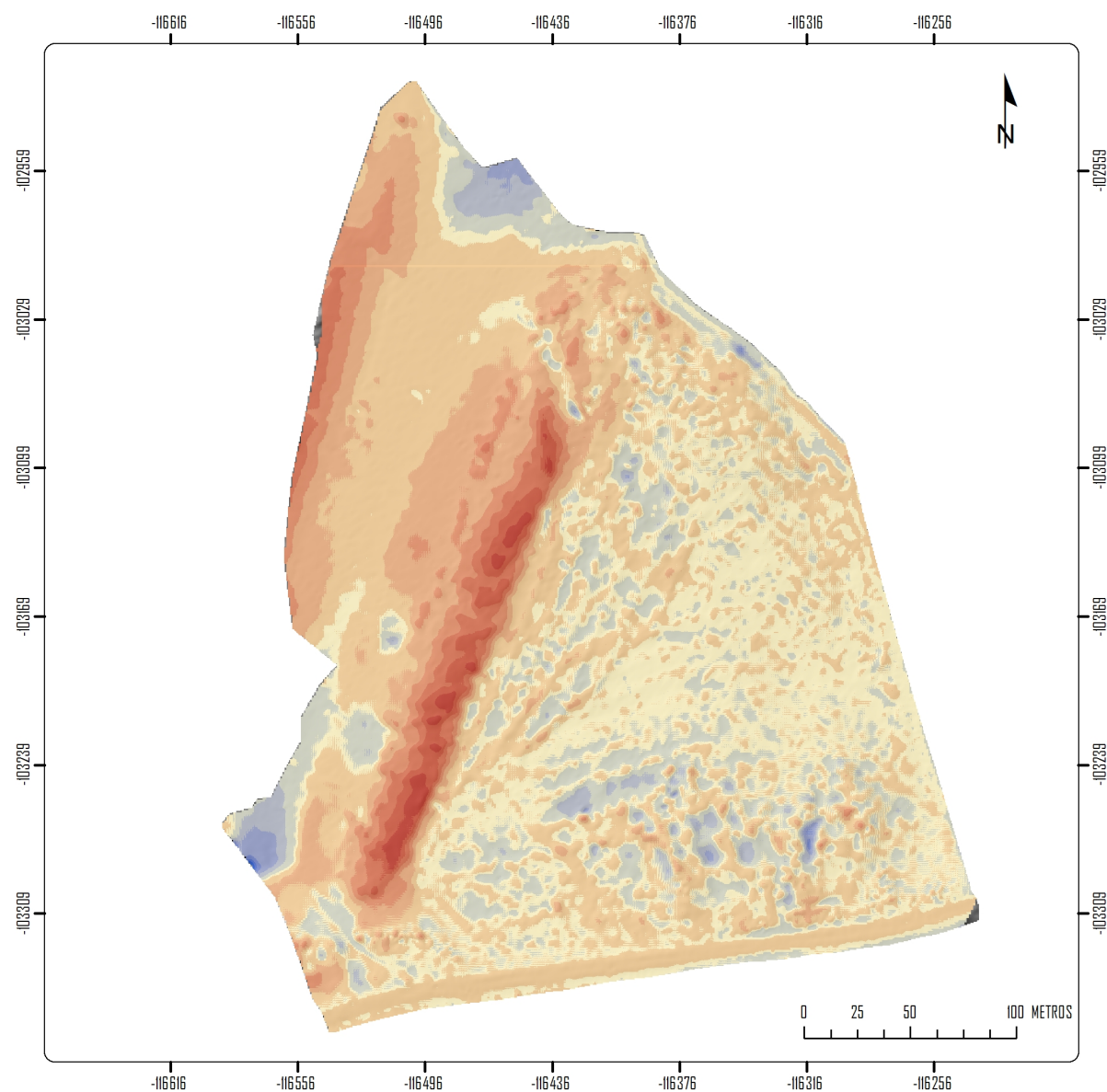


HIPSOMETRIA 2014
Sistema dunar do Guincho

Classes de Hipsometria (m)

 0 - 5	 11 - 12
 5 - 7	 12 - 13
 7 - 9	 13 - 16
 9 - 10	 16 - 20
 10 - 11	 20 - 24,5

Escala 1:2.500
Projeção de Gauss
Elipsóide Internacional - Datum Lisboa



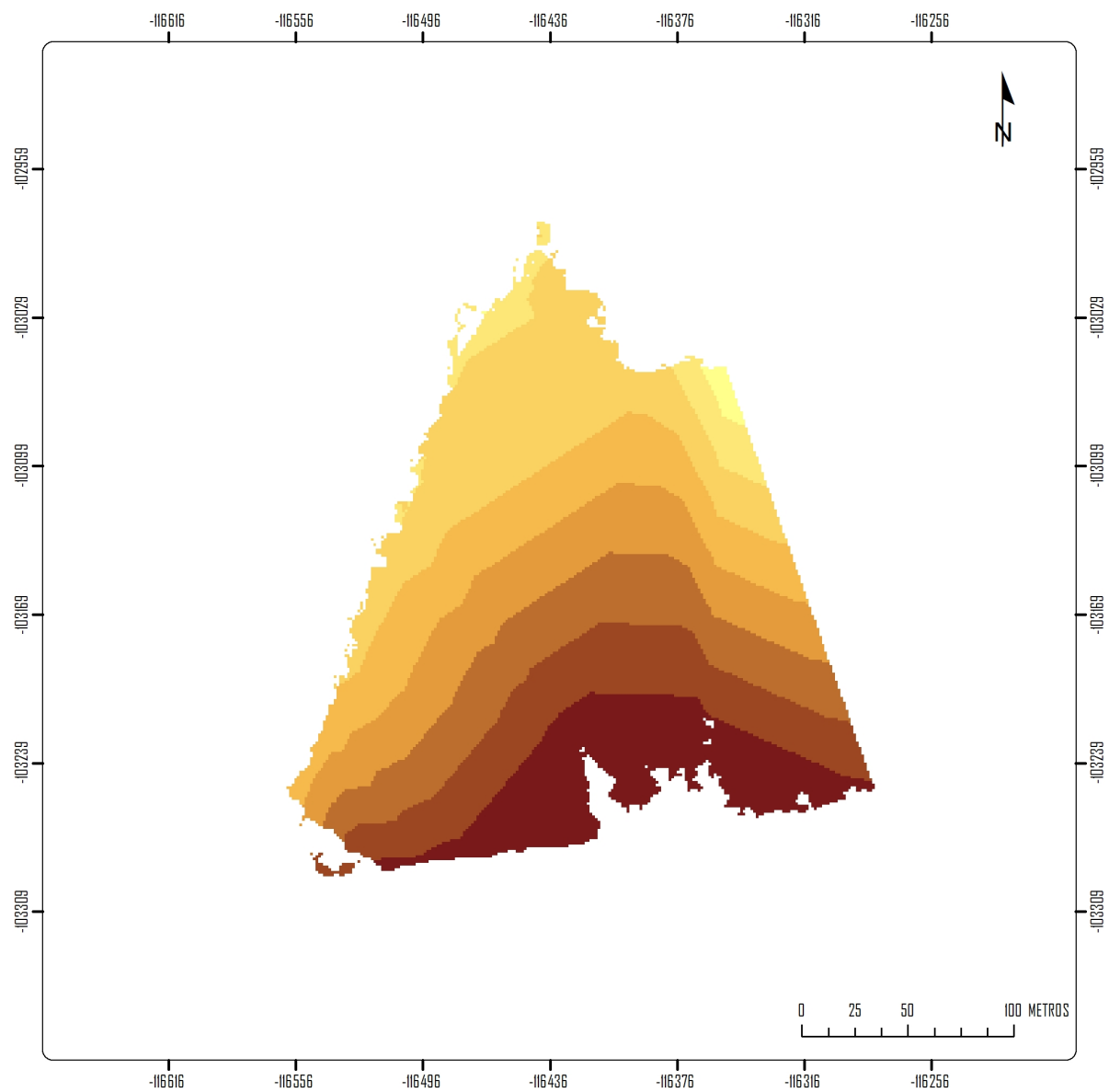
ACUMULAÇÃO / DEFLACÇÃO DE SEDIMENTOS (2011 - 2014)

Sistema dunar do Guincho

Diferenças de elevação (m)

-3.2 - -2.7	0 - 0.1
-2.7 - -2.3	0.1 - 0.6
-2.3 - -1.8	0.6 - 1.2
-1.8 - -1.2	1.2 - 1.8
-1.2 - -0.6	1.8 - 2.3
-0.6 - -0.1	2.3 - 2.7
-0.1 - 0	2.7 - 3.3

Escala 1:2.500
 Projectão de Gauss
 Elipsóide Internacional - Datum Lisboa



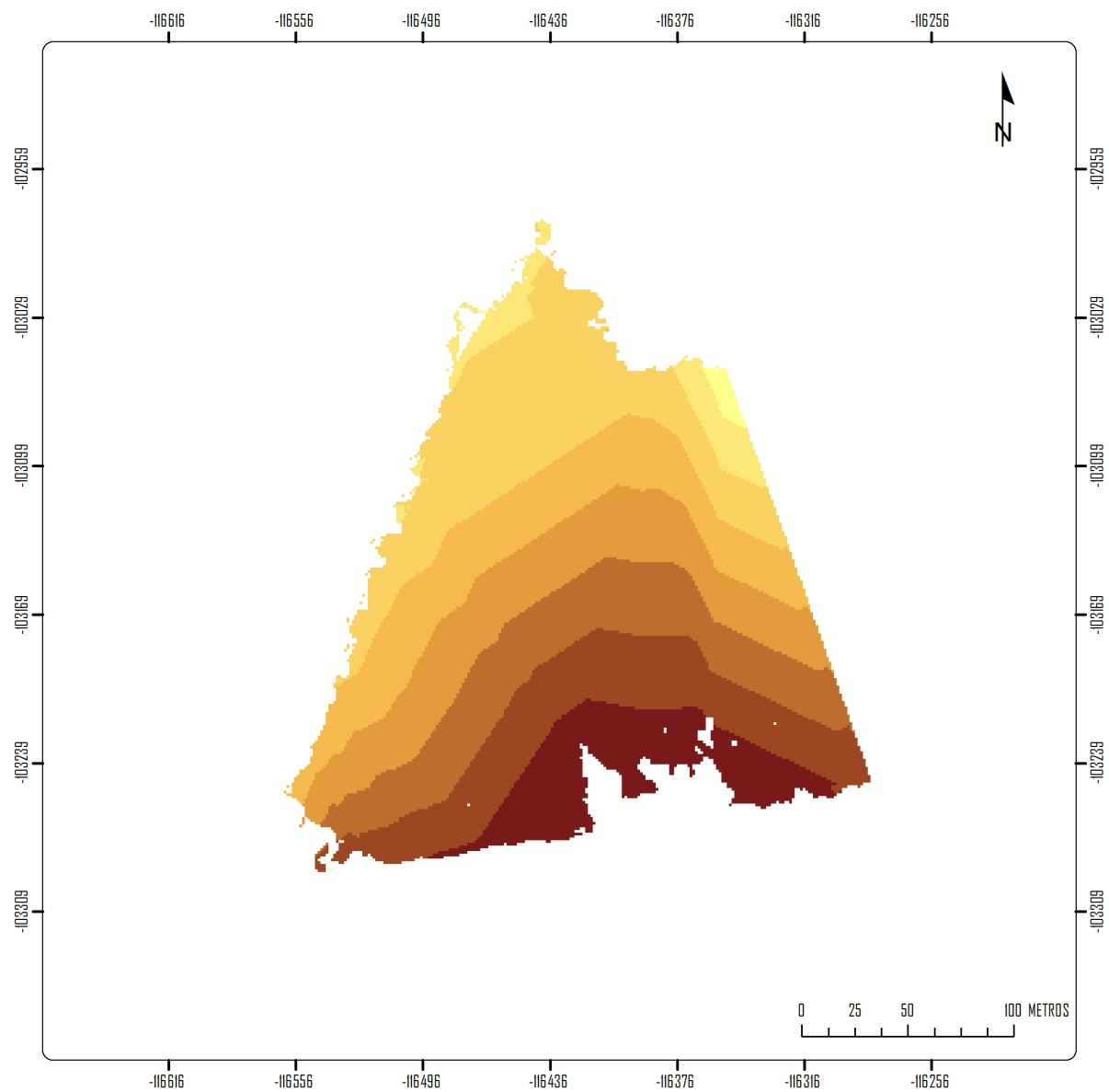
SUPERFÍCIE IDEALIZADA I

Sistema dunar do Guincho

Classes de Hipsometria (m)

6,9 - 9	15 - 17
9 - 11	17 - 19
11 - 13	19 - 21
13 - 15	21 - 23,2

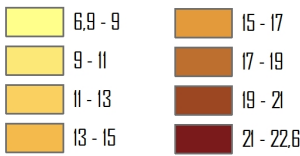
Escala 1:2.500
Projeção de Gauss
Elipsóide Internacional - Datum Lisboa



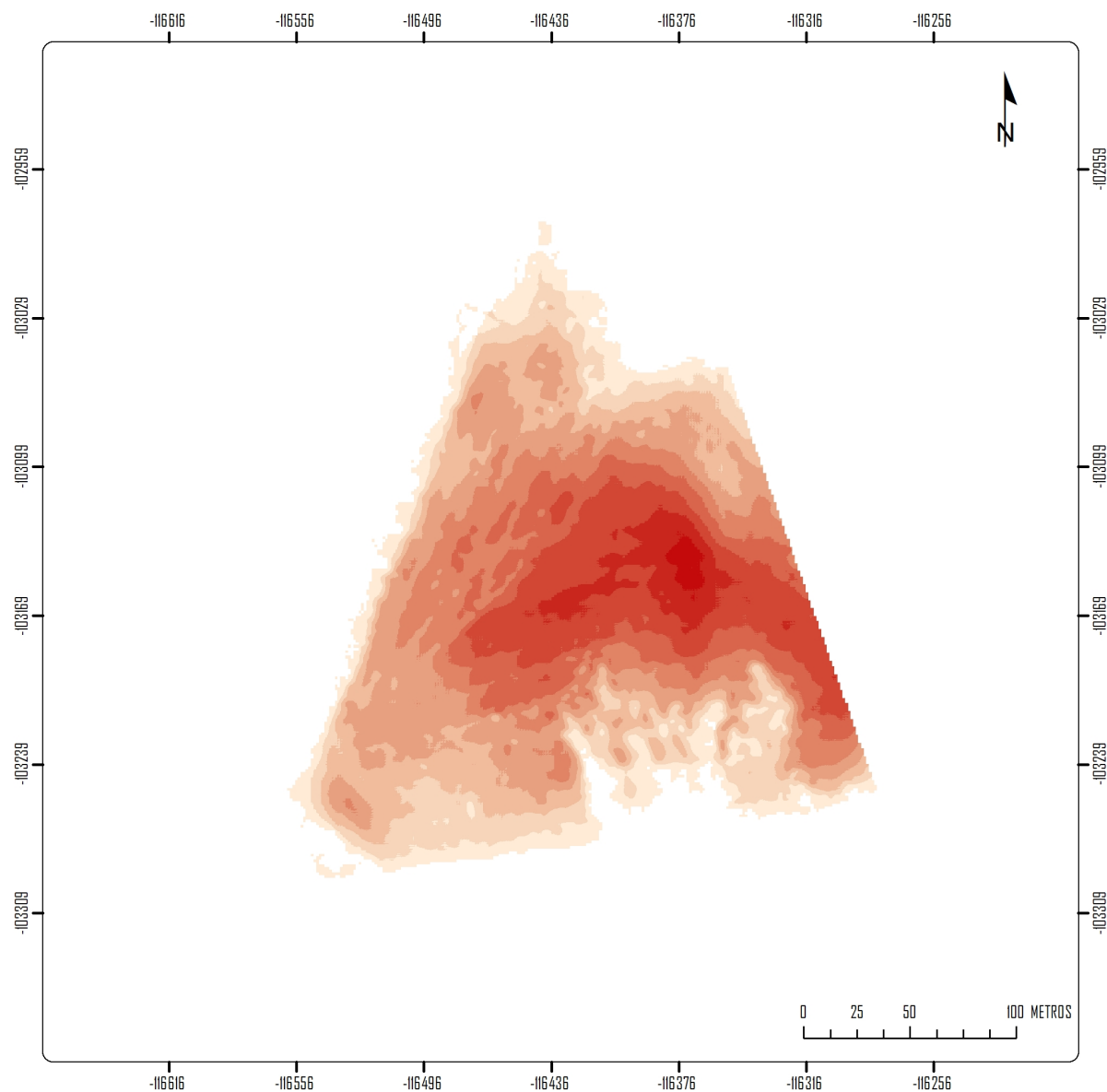
SUPERFÍCIE IDEALIZADA II

Sistema dunar do Guincho

Classes de Hipsometria (m)



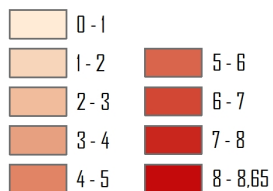
Escala 1:2.500
Projeção de Gauss
Elipsóide Internacional - Datum Lisboa



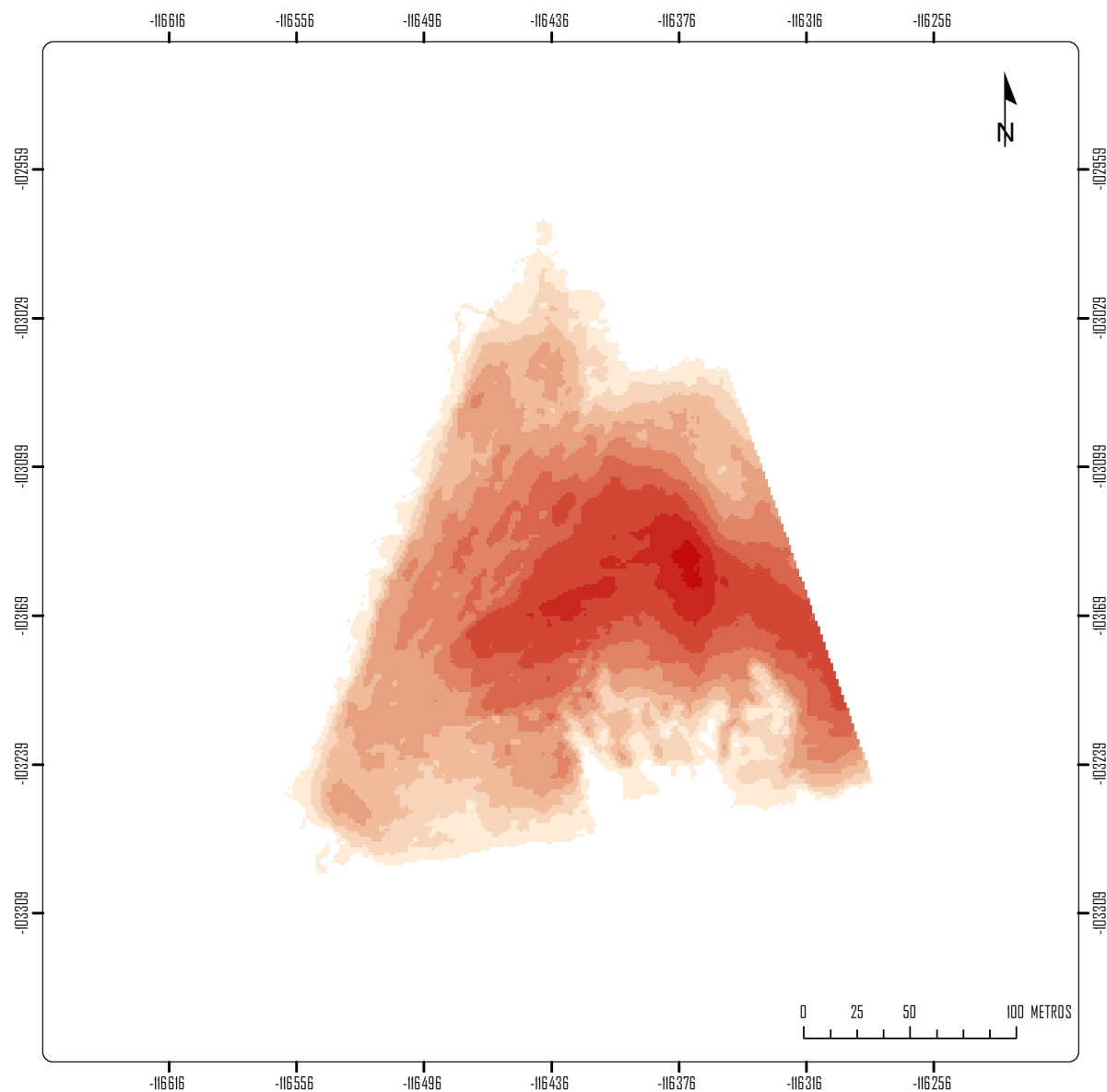
PREENCHIMENTO DA ACTUAL SUPERFÍCIE DO SISTEMA DUNAR PARA ATINGIR A SUPERFÍCIE IDEALIZADA I

Sistema dunar do Guincho

Diferenças de elevação (m)



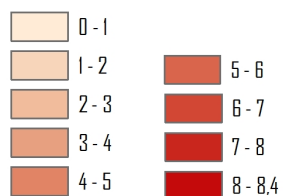
Escala 1:2.500
 Projectão de Gauss
 Elipsóide Internacional - Datum Lisboa



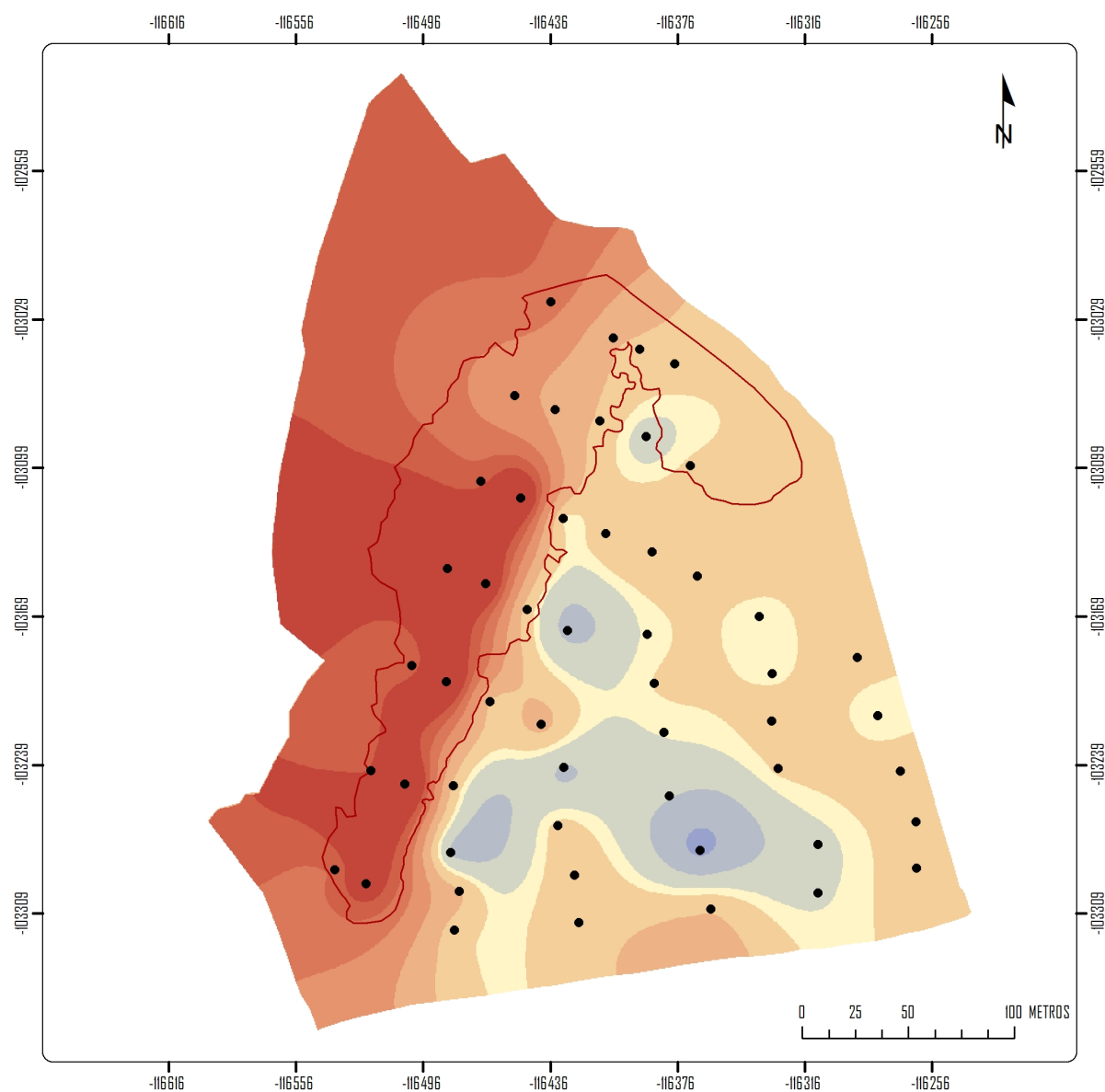
PREENCHIMENTO DA ACTUAL SUPERFÍCIE DO SISTEMA DUNAR PARA ATINGIR A SUPERFÍCIE IDEALIZADA II

Sistema dunar do Guincho

Diferenças de elevação (m)



Escala 1:2.500
 Projectão de Gauss
 Elipsóide Internacional - Datum Lisboa



ACUMULAÇÃO / DEFLACÃO DE SEDIMENTOS (2010-2014)*

Sistema dunar do Guincho

Diferenças de elevação (m)

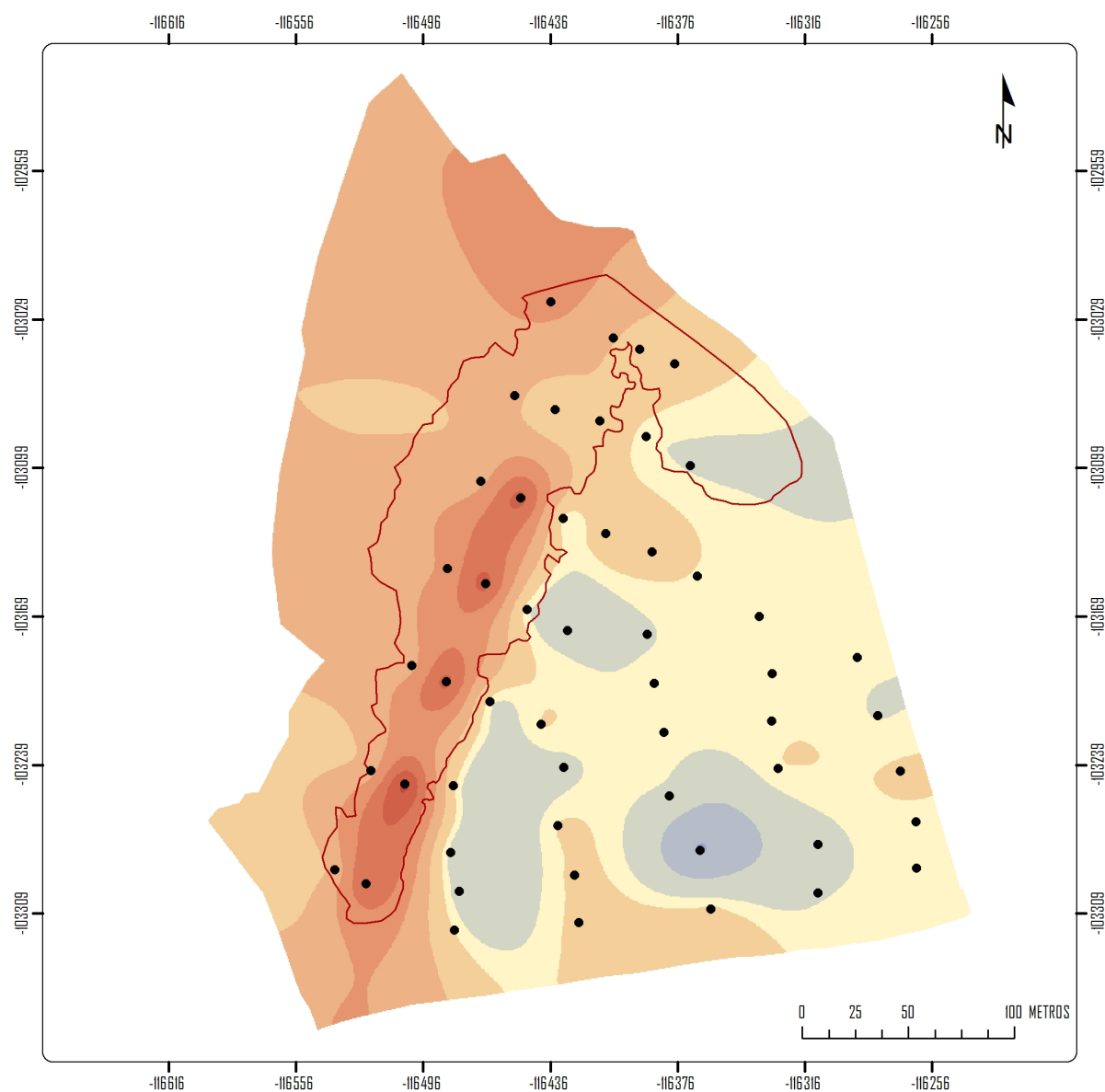
-3.2 - -2.7	0 - 0.1
-2.7 - -2.3	0.1 - 0.6
-2.3 - -1.8	0.6 - 1.2
-1.8 - -1.2	1.2 - 1.8
-1.2 - -0.6	1.8 - 2.3
-0.6 - -0.1	2.3 - 2.7
-0.1 - 0	2.7 - 3.3

Escala 1:2.500

Projeção de Gauss

Elipsóide Internacional - Datum Lisboa

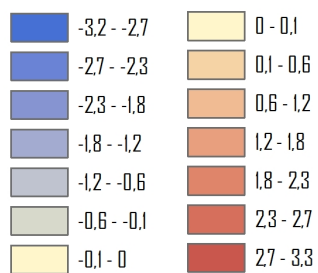
*Baseado no levantamento de 52 pontos altimétricos recolhidos na monitorização do sistema dunar pela Cascais Ambiente



ACUMULAÇÃO / DEFLACÃO DE SEDIMENTOS (2011-2014)*

Sistema dunar do Guincho

Diferenças de elevação (m)

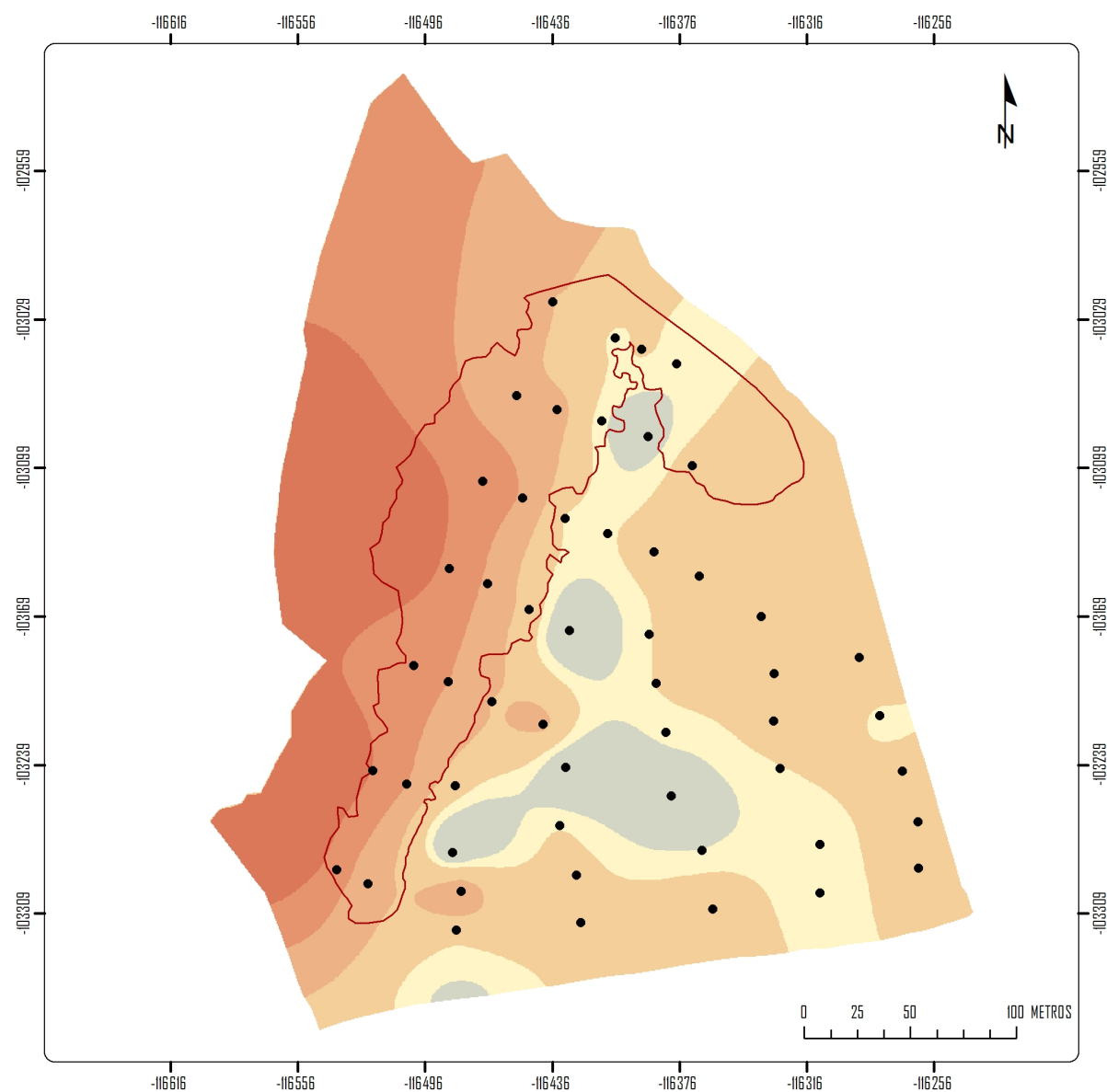


Escala 1:2.500

Projectão de Gauss

Elipsóide Internacional - Datum Lisboa

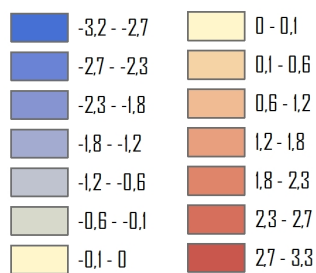
*Baseado no levantamento de 52 pontos altimétricos recolhidos na monitorização do sistema dunar pela Cascais Ambiente



ACUMULAÇÃO / DEFLACÃO DE SEDIMENTOS (2010-2011)*

Sistema dunar do Guincho

Diferenças de elevação (m)

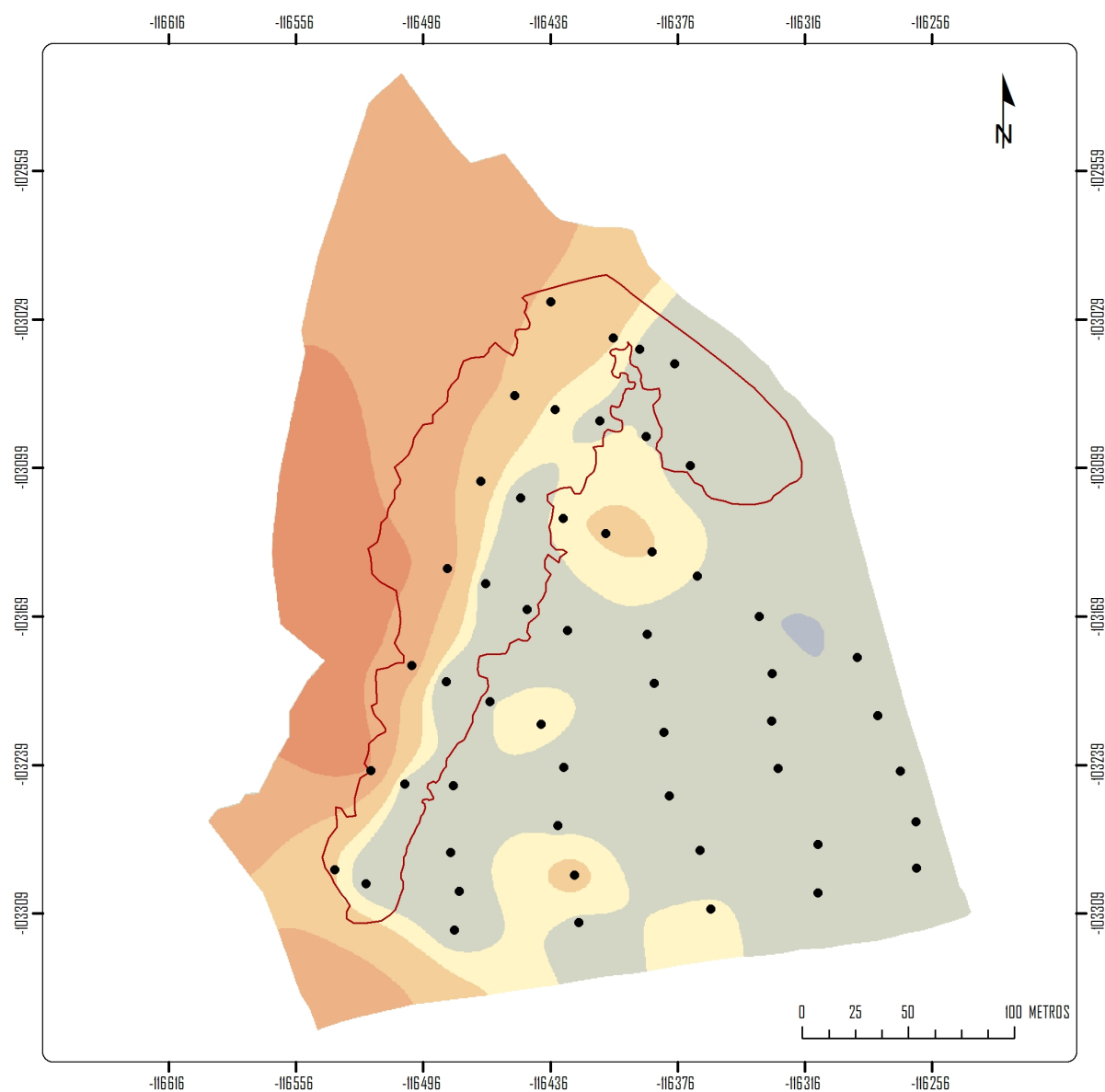


Escala 1:2.500

Projeção de Gauss

Elipsóide Internacional - Datum Lisboa

*Baseado no levantamento de 52 pontos altimétricos recolhidos na monitorização do sistema dunar pela Cascais Ambiente



ACUMULAÇÃO / DEFLACÃO DE SEDIMENTOS (2011-2012)*

Sistema dunar do Guincho

Diferenças de elevação (m)

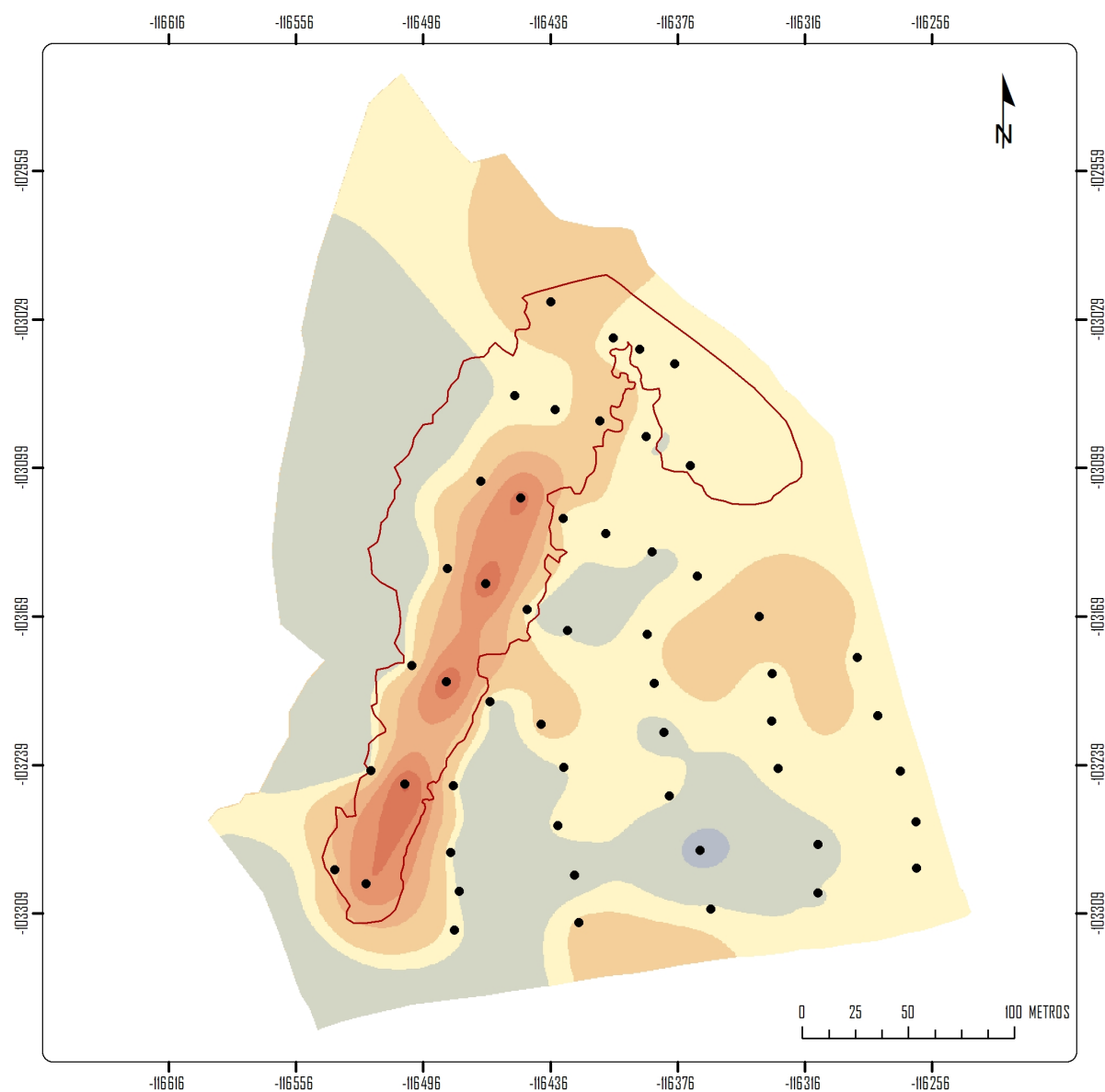
-3.2 - -2.7	0 - 0.1
-2.7 - -2.3	0.1 - 0.6
-2.3 - -1.8	0.6 - 1.2
-1.8 - -1.2	1.2 - 1.8
-1.2 - -0.6	1.8 - 2.3
-0.6 - -0.1	2.3 - 2.7
-0.1 - 0	2.7 - 3.3

Escala 1:2.500

Projectão de Gauss

Elipsóide Internacional - Datum Lisboa

*Baseado no levantamento de 52 pontos altimétricos recolhidos na monitorização do sistema dunar pela Cascais Ambiente



ACUMULAÇÃO / DEFLACÃO DE SEDIMENTOS (2012-2013)*

Sistema dunar do Guincho

Diferenças de elevação (m)

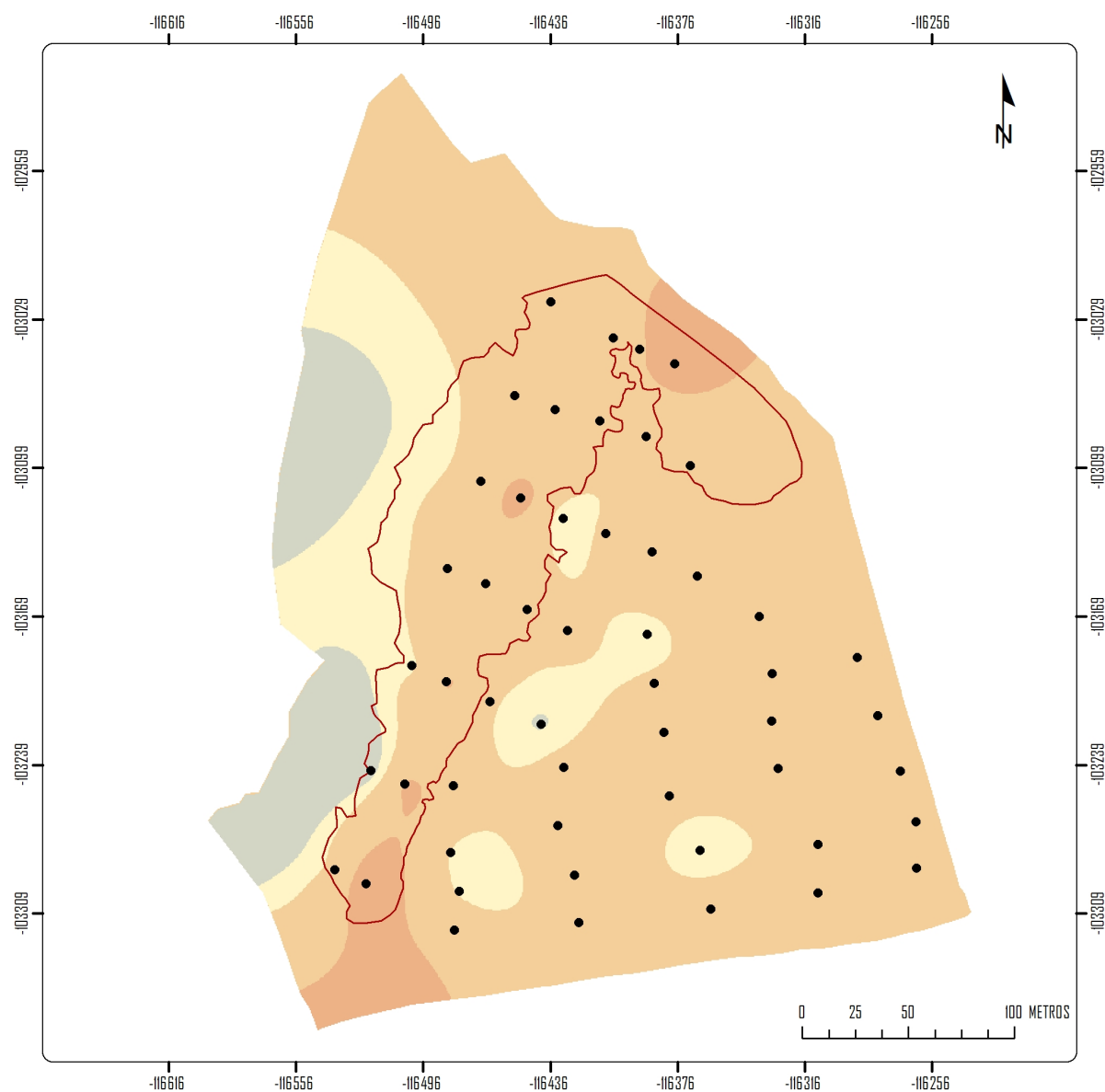
-3.2 - -2.7	0 - 0.1
-2.7 - -2.3	0.1 - 0.6
-2.3 - -1.8	0.6 - 1.2
-1.8 - -1.2	1.2 - 1.8
-1.2 - -0.6	1.8 - 2.3
-0.6 - -0.1	2.3 - 2.7
-0.1 - 0	2.7 - 3.3

Escala 1:2.500

Projectão de Gauss

Elipsóide Internacional - Datum Lisboa

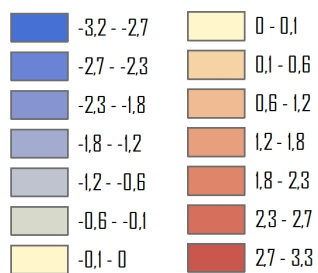
*Baseado no levantamento de 52 pontos altimétricos recolhidos na monitorização do sistema dunar pela Cascais Ambiente



ACUMULAÇÃO / DEFLACÃO DE SEDIMENTOS (2013-2014)*

Sistema dunar do Guincho

Diferenças de elevação (m)



Escala 1:2.500

Projectão de Gauss

Elipsóide Internacional - Datum Lisboa

*Baseado no levantamento de 52 pontos altimétricos recolhidos na monitorização do sistema dunar pela Cascais Ambiente